

Tri Widodo

# ***FISIKA***

## UNTUK SMA/MA



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

**XI**

Tri Widodo

# FISIKA

untuk

# SMA/MA

Kelas XI



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

## FISIKA

### untuk SMA/MA Kelas XI

Penyusun : Tri Widodo  
Editor : Widha Sunarno  
: Arief Satiyo Nugroho  
Illustrator : Pandu  
Budi S  
Ukuran : 17,6 x 25 cm

530.07

TRI TRI Widodo

f Fisika : untuk SMA dan MA Kelas XI / penyusun, Tri Widodo  
editor ; Widha Sunarno, Arief Satiyo Nugroho ; Pandu, Budi S.  
. -- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
vi, 226 hlm. : ilus. ; 25 cm

Bibliografi : hlm. 218

Indeks

ISBN 978-979-068-802-5 (no. jilid lengkap)

ISBN 978-979-068-808-7

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Widha Sunarno  
III. Arief Satyo Nugroho IV. Pandu V Budi S.

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit CV Mefi Caraka

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional Tahun 2009

Diperbanyak oleh ....

# KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 .

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009

Kepala Pusat Perbukuan

# KATA PENGANTAR

Perkembangan Kurikulum saat ini lebih menitik beratkan pada proses pembekalan kecakapan hidup (life skill) pada para peserta didik agar mempunyai kemandirian dan daya saing di era globalisasi dunia. Dengan demikian perlu ada perubahan paradigma tentang konsep pelaksanaan belajar mengajar di sekolah.

Buku materi tentunya bukan sekadar buku wacana, namun lebih dititik-beratkan sebagai sarana memproses peserta didik dalam menemukan konsep dasar, menganalisis teori-teori dasar, serta tempat pembekalan life skill, sehingga diharapkan para peserta didik dapat mengimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari.

Syukur alhamdulillah kami penyusun buku materi Fisika untuk SMA/MA kelas XI dapat menuangkan ide-ide tersebut di atas ke dalam buku ini.

Buku ini kami susun dengan mempertimbangkan keterkaitan antara sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas) dalam penyajian yang berimbang. Konsep dan subkonsep kami sajikan dengan bahasa yang sederhana disertai contoh soal yang memudahkan siswa memahami konsep yang diberikan. Kami berikan pula kegiatan berupa tugas diskusi dan atau praktikum agar siswa dapat mencoba dan mempraktikkan konsep fisika dalam kehidupan. Selain itu kami berikan soal-soal uji pemahaman pada tiap subkonsep, uji kompetensi pada tiap akhir bab, dan ulangan akhir semester. Soal-soal uji pemahaman kami berikan sebagai *refleksi* untuk mengukur kemampuan siswa secara mandiri pada setiap subkonsep yang dibahas

Kami menyadari bahwa masih adanya kekurangan dalam penuangan materi dalam buku ini, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pemakai buku ini sangat kami harapkan. Akhirnya, semoga buku ini benar-benar dapat bermanfaat bagi peserta didik. Amiin.

Surakarta, Desember 2006

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>Kata Sambutan .....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar isi .....</b>	<b>v</b>
<b>BAB 1 : PERSAMAAN GERAK .....</b>	<b>2</b>
A. Gerak Linear .....	2
B. Gerak Melingkar (Rotasi) .....	15
C. Gerak Parabola .....	26
Rangkuman .....	35
Uji Kompetensi .....	38
<b>BAB 2 : HUKUM NEWTON TENTANG GERAK DAN GRAVITASI ..</b>	<b>41</b>
A. Gaya Gesekan .....	42
B. Hukum Newton pada Gerak Planet .....	49
Rangkuman .....	59
Uji Kompetensi .....	60
<b>BAB 3 : GAYA PEGAS DAN GERAK HARMONIK .....</b>	<b>63</b>
A. Gaya Pegas .....	64
B. Gerak Harmonik .....	69
Rangkuman .....	74
Uji Kompetensi .....	76
<b>BAB 4 : USAHA, ENERGI, DAN DAYA .....</b>	<b>79</b>
A. Usaha .....	81
B. Energi .....	84
C. Daya .....	86
D. Hukum Kekekalan Energi Mekanik .....	87
Rangkuman .....	91
Uji Kompetensi .....	92
<b>BAB 5 : MOMENTUM LINIER DAN IMPULS .....</b>	<b>95</b>
A. Impuls dan Momentum .....	96
B. Hukum kekal Momentum .....	98
C. Tumbukan .....	102
Rangkuman .....	106
Uji Kompetensi .....	107
<b>ULANGAN SEMESTER I .....</b>	<b>109</b>

<b>BAB 6 : MOMENTUM SUDUT DAN ROTASI BENDA TEGAR .....</b>	<b>113</b>
A. Momen Gaya dan Kopel .....	114
B. Rotasi Benda Tegar .....	121
C. Keseimbangan Benda Tegar .....	130
Rangkuman .....	143
Uji Kompetensi .....	144
<b>BAB 7 : FLUIDA .....</b>	<b>149</b>
A. Fluida Diam (Fluida tidak Mengalir).....	150
B. Fluida Bergerak .....	165
Rangkuman .....	174
Uji Kompetensi .....	176
<b>BAB 8 : TEORI KINETIK GAS .....</b>	<b>181</b>
A. Pengertian Gas Ideal.....	182
B. Tekanan Gas .....	182
C. Suhu dan Energi Kinetik Rata-rata Partikel Gas .....	186
D. Derajat Kebebasan suatu Partikel.....	188
Rangkuman .....	189
Uji Kompetensi .....	190
<b>BAB 9 : TERMODINAMIKA .....</b>	<b>193</b>
A. Usaha Gas.....	194
B. Energi dalam Gas.....	198
C. Kapasitas Kalor .....	211
D. Rangkaian Proses Termodinamika .....	212
E. Efisiensi Mesin Kalor.....	202
F. Hukum Termodinamika II .....	203
Rangkuman .....	204
Uji Kompetensi .....	206
<b>ULANGAN SEMESTER 2 .....</b>	<b>209</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>213</b>
<b>INDEKS .....</b>	<b>216</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>218</b>
<b>LAMPIRAN KUNCI JAWABAN .....</b>	<b>219</b>



# 1

## PERSAMAAN GERAK

Setelah mempelajari materi "Persamaan Gerak" diharapkan Anda mampu memahami bahwa gerak suatu benda bersifat relatif, artinya tergantung acuan tertentu yang dianggap diam. Selain itu diharapkan Anda mampu menganalisis besaran perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada perpaduan gerak lurus, melingkar, dan parabola menggunakan vektor, serta mampu menganalisis vektor percepatan tangensial dan percepatan sentripetal pada gerak melingkar.





## A. GERAK LINEAR

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering melihat benda yang sedang bergerak atau kita sendiri sedang melakukan gerakan.

Pada fisika, gerak merupakan konsep yang penting. Coba bandingkan konsep gerak pada fisika dengan apa yang diartikan pada kehidupan sehari-hari. Misalnya, kereta api berangkat dari stasiun, pengantar melihat bahwa kereta api makin lama makin jauh. Ia katakan bahwa kereta api itu bergerak. Bagi penumpang kesan bergerak timbul karena ia melihat jarak stasiun makin jauh. Bagaimanakah dengan sesama penumpang, apakah ia bergerak?

Jarak antarpemumpang adalah tetap, kesan bergerak antara sesama penumpang tidak ada. Penumpang yang duduk tetap duduk di dalam kereta api. Dengan demikian dapat dikatakan, kereta api tidak bergerak terhadap penumpang, tetapi kereta api bergerak terhadap pengamat yang berada di stasiun. Masalah berikutnya, bagaimana Anda menentukan perubahan kedudukan benda yang bergerak? Terbayang di benaknya bagaimana rel kereta api berkelok, mulai lurus, berbelok ke kiri, lurus kembali, berbelok ke kanan, dan seterusnya.

Masalah ini sebenarnya menyangkut bentuk lintasan, ada lintasan lurus, lintasan melengkung, atau berkelok.

Benda yang bergerak dengan lintasan lurus dinamakan gerak lurus. Gerak sebuah benda melalui sebuah garis disebut gerak linear.

Dari uraian di atas tampak bahwa gerak sebuah benda bersifat relatif, artinya tergantung acuan tertentu yang dianggap diam.

### Kegiatan 1.1

Diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut dengan kelompok Anda!

1. Bergerakkah bumi yang kita tempati ini? Berilah penjelasan!
2. Dalam tata surya, matahari berotasi pada sumbunya di suatu tempat.

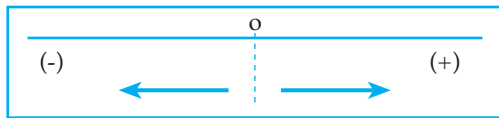
Mengapa dilihat dari bumi matahari tampak bergerak? Berilah penjelasan!

### 1. Kedudukan, Perpindahan, dan Jarak

Setelah kereta api bergerak beberapa saat, mungkin menimbulkan pertanyaan di benak pengantar, sudah sampai di manakah kereta api itu sekarang?

Tentu yang dibayangkan orang itu, di mana tempat kereta api berada. Ketika kereta api bergerak dengan lintasan lurus masalah itu mudah digambarkan, yaitu menggunakan garis bilangan.

Pada garis bilangan ditetapkan suatu titik O sebagai titik acuan. Titik ini merupakan titik pangkal pengukuran. Perhatikan gambar 1.1 di bawah ini!



Keterangan:

Titik O sebagai titik acuan

Gambar 1.1 Titik acuan, letak positif, letak negatif

Garis yang titik-titiknya diberi tanda positif disebut sumbu positif dan arahnya disebut arah positif (arah sumbu positif).

Kedudukan benda dinyatakan oleh tanda positif atau negatif yang menyatakan arah dan jarak terhadap titik acuan menyatakan besarnya. Kedudukan adalah besaran vektor yang dilambangkan dengan anak panah. Panjang sebuah garis tempat perubahan kedudukan benda disebut lintasan benda. Jika benda berpindah dari A ke B, maka arahnya dari A ke B dan nilainya sebesar AB. Secara vektor dinyatakan sebagai  $\vec{AB}$  atau  $\vec{OB} - \vec{OA}$ , yaitu selisih kedudukan B terhadap A. Jika benda tersebut berpindah sepanjang sumbu x dengan titik O sebagai acuan, maka pernyataan vektor untuk gerak linear tersebut dinyatakan dengan  $\vec{S}$ , maka  $\vec{S} = \vec{X}_B - \vec{X}_A$

### Contoh Soal 1.1

1. Sebuah benda bergerak pada sumbu x mula-mula berada di titik O (titik acuan), kemudian bergerak sehingga perpindahannya + 3 m. Setelah itu benda melanjutkan gerakan sehingga perpindahannya + 5 m dari titik perpindahan pertama. Di mana kedudukan benda itu sekarang?



Untuk gerakan pertama:

$$\begin{aligned}\vec{X}_A &= 0 \\ \vec{S}_1 &= +3 \text{ m} \\ \vec{S}_1 &= \vec{X}_B - \vec{X}_A \\ 3 &= \vec{X}_B - 0 \\ \vec{X}_B &= 3 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk gerakan kedua

$$\begin{aligned}\left(\vec{X}_A\right) &= +3 \text{ m} \\ \vec{S}_2 &= +5 \text{ m} \\ \vec{S}_2 &= \left(\vec{X}_B\right) - \left(\vec{X}_A\right) \\ 5 &= \left(\vec{X}_B\right) - 3 \\ \left(\vec{X}_B\right) &= +8 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi, kedudukan benda itu 8 m di sebelah kanan O dan selama itu benda telah menempuh jarak  $3 \text{ m} + 5 \text{ m} = 8 \text{ m}$ .

2. Sebuah benda bergerak pada sumbu X mula-mula berada di titik O (titik acuan), kemudian bergerak sehingga perpindahannya = 3 m, setelah itu benda melanjutkan gerakan sehingga perpindahannya -5 m.



Untuk gerakan pertama:

$$\vec{X}_A = 0$$

$$\vec{S}_1 = +3 \text{ m}$$

$$\vec{S}_1 = \vec{X}_B - \vec{X}_A$$

$$3 = \vec{X}_B - 0$$

$$\vec{X}_B = 3 \text{ m}$$

Untuk gerakan kedua

$$\left( \vec{X}_A \right) = +3 \text{ m}$$

$$\vec{S}_2 = -5 \text{ m}$$

$$\vec{S}_2 = \left( \vec{X}_B \right) - \left( \vec{X}_A \right)$$

$$-5 = \left( \vec{X}_B \right) - 3$$

$$\left( \vec{X}_B \right) = -2 \text{ m}$$

Jadi, kedudukan benda itu 2 m di sebelah kiri O padahal selama benda bergerak telah menempuh jarak  $3 \text{ m} + 5 \text{ m} = 8 \text{ m}$

Dari uraian di atas dapat diperoleh pengertian sebagai berikut.

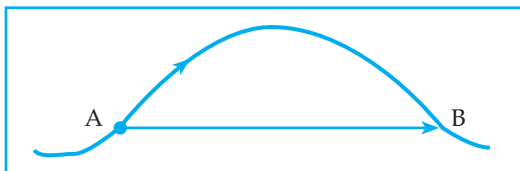
- Titik acuan O dapat dipilih sembarang. Biasanya titik pangkal gerakan pertama dipilih sebagai titik O.
- Jarak berbeda dengan perpindahan atau pergeseran.

Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh benda dan merupakan besaran skalar.

Perpindahan adalah perubahan kedudukan suatu benda dan merupakan besaran vektor.

Selanjutnya timbul pertanyaan, bagaimana cara menggambarkan perpindahan suatu benda yang bergerak dengan lintasan lengkung?

Perpindahan suatu benda dengan lintasan lengkung dapat digambarkan dengan membuat anak panah yang menghubungkan kedudukan awal dan kedudukan akhir.

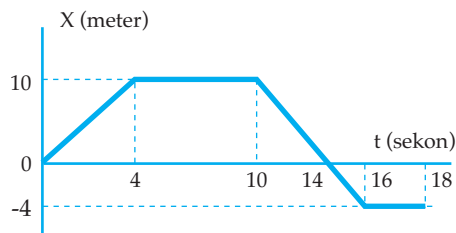


Gambar 1.2 Perpindahan benda dengan lintasan lengkung

Pada gambar 1.2 menyatakan sebuah benda yang bergerak dengan lintasan lengkung dari titik A ke titik B. Perpindahan benda tersebut dinyatakan dengan  $\vec{AB}$ .

**Kegiatan 1.2**

Diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut dengan teman-temanmu!

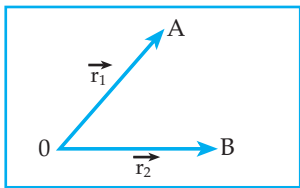


Gambar di atas menyatakan grafik hubungan kedudukan benda bergerak (x) dengan waktu (t).  
 Dari grafik tersebut berilah penjelasan bagaimana gerakan benda tersebut?

**2. Vektor Posisi dan Vektor Satuan**

*a. Vektor posisi*

Posisi sebuah titik partikel terhadap sebuah titik acuan tertentu dapat dinyatakan dengan sebuah vektor posisi. Perhatikan gambar 1.3 di bawah ini!



Gambar 1.3 Vektor posisi

Keterangan:  
 $\vec{r_1}$  = vektor posisi titik A terhadap titik O  
 $\vec{r_2}$  = vektor posisi titik B terhadap titik O

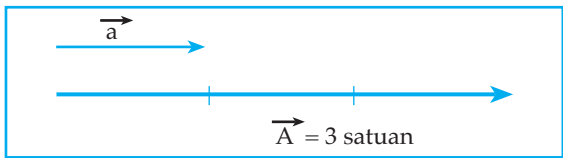
*b. Vektor satuan*

Vektor satuan adalah vektor yang besarnya satu satuan.

Sebagai contoh vektor A yang besarnya  $|\vec{A}|$  maka vektor satuan yang arahnya searah dengan vektor A adalah:

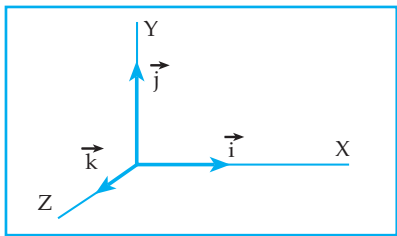
$$\vec{a} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

Vektor satuan  $\vec{a}$  dan vektor  $\vec{A}$  dilukiskan pada gambar 1.4 berikut.



Gambar 1.4 Vektor satuan

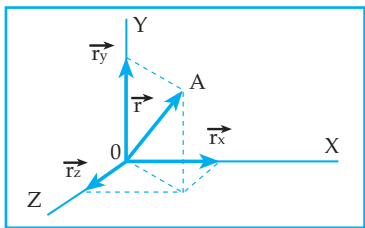
Dalam sistem koordinat kartesius terdapat 3 macam vektor satuan. Vektor yang searah dengan sumbu x positif, sumbu y positif, dan sumbu z positif berturut-turut dinyatakan dengan  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ , dan  $\vec{k}$ . Seperti ditunjukkan pada gambar 1.5.



Gambar 1.5 Vektor satuan dalam sistem koordinat kartesius

Vektor satuan dalam sistem koordinat kartesius.

Contoh:



Gambar 1.6 Vektor satuan

Pada gambar di samping, titik A berada dalam ruang Kartesius. Jika menyatakan vektor posisi titik A terhadap titik O, maka dalam vektor satuan, vektor  $\vec{r}$  dapat dinyatakan:

$$\vec{r} = \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z$$

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

$$\vec{r}_x = x \vec{i}$$

$$\vec{r}_y = y \vec{j}$$

$$\vec{r}_z = z \vec{k}$$

Besar vektor  $\vec{r}$  dapat dihitung dengan persamaan:

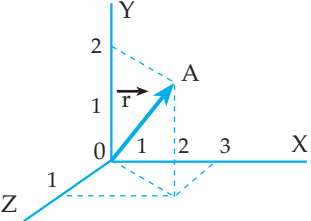
$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

### Contoh Soal 1.2

Sebuah titik A berada dalam ruang kartesius dan koordinat titik A adalah (3, 2, 1)

- Gambarlah vektor posisi titik A terhadap titik O (titik potong sumbu x, y, dan z)!
- Nyatakan vektor posisi titik A terhadap titik O dalam vektor satuan!
- Hitung besar dari vektor posisi titik A terhadap titik O tersebut!

*Penyelesaian*

- 
- $\vec{r} = \text{vektor posisi titik A terhadap titik O}$
- $\vec{r} = 3 \vec{i} + 2 \vec{j} + \vec{k}$
- $r = \sqrt{3^2 + 2^2 + 1^2}$   
 $r = \sqrt{14}$

### Uji Pemahaman 1.1

**Kerjakan soal berikut!**

- 

Dari gambar di atas

- tentukan posisi titik B terhadap titik A
  - tentukan posisi titik A terhadap titik C
  - jika benda berpindah dari titik B ke titik C kemudian ke titik A, maka tentukan jarak dan perpindahan yang ditempuh benda!
- Titik A dan titik B terletak pada bidang kartesius. Koordinat titik A dan B berturut-turut (3, 4) dan (9, 12).
    - Gambarlah vektor posisi titik A terhadap titik O (titik potong sumbu x dan sumbu y) dan nyatakan dengan vektor  $\vec{r}_1$ !
    - Gambar vektor posisi titik B terhadap titik O dan nyatakan dengan vektor  $\vec{r}_2$ !
    - Jika titik partikel berpindah dari titik A ke titik B, berapakah besar perpindahan titik partikel tersebut?

### 3. Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Sesaat

Jika kita kembali lagi pada contoh gerakan kereta api, mungkin timbul pertanyaan, pukul berapakah kereta api itu sampai di tempat tujuan? Berapakah lama kereta api di perjalanan? Kedua pertanyaan itu sebenarnya menyangkut waktu dan jarak.

Untuk menyelidiki hubungan antara jarak tempuh dengan waktu, dapat dilakukan percobaan berikut.

Sepeda motor dikendarai sepanjang jalan lurus dan datar sejauh 50 meter. Setiap jarak 10 meter jalan tersebut diberi tanda, sehingga untuk menentukan waktu setiap 10 meter dicatat dengan stopwatch. Hasil pengamatan dapat dicantumkan pada tabel seperti berikut.

Tabel 1.1

Jarak d (m)	Waktu t (sekon)	Jarak/waktu
0	0	-
10	2,3	4,34
20	4,5	4,44
30	6,8	4,41
40	9,1	4,39
50	11,4	4,38

Hasil bagi jarak dengan waktu setelah dibulatkan ternyata mempunyai harga pembulatan sama, yaitu 4,0. Hasil bagi antara jarak dengan waktu ini dinamakan laju atau disingkat  $v$ . Jadi, sepeda motor tadi bergerak dengan laju tetap sebesar 4,0 m/s.

Hubungan jarak, waktu, dan kelajuan sebagai berikut.

$$v = \frac{S}{t}$$

$v$  = laju (m/s)  
 $S$  = jarak (m)  
 $t$  = waktu (s)

Konsep laju tidak dapat menjelaskan masalah gerak secara lengkap, karena laju belum menunjukkan arah gerak. Laju hanya menyatakan jarak yang ditempuh tiap detik, sehingga laju merupakan besaran skalar.

Jika pernyataan laju ditambah dengan arah gerak, maka dinamakan kecepatan yang diberi lambang  $\vec{v}$ . Kecepatan merupakan besaran vektor. Jadi, jika benda bergerak dengan kecepatan tetap, berarti kelajuan dan arahnya tetap.

Gerakan sepeda motor seperti pada percobaan di atas merupakan gerak lurus dengan kecepatan tetap atau disebut gerak lurus beraturan, berarti kelajuan dan arahnya tetap.

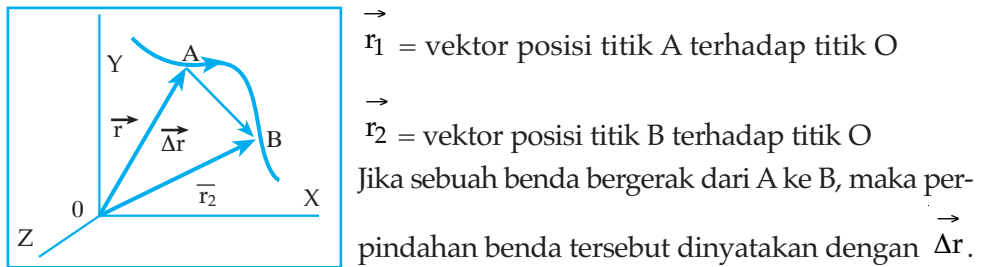
Kemudian timbul pertanyaan, bagaimana jika lintasan yang dilalui benda selama bergerak berupa lintasan lengkung?

Jika lintasan yang dilalui benda selama bergerak berupa lintasan lengkung, tentunya kecepatan benda tersebut selalu berubah-ubah. Dengan demikian kecepatan yang dimaksud dalam kehidupan sehari-hari adalah kecepatan rata-rata. Kecepatan pada saat-saat tertentu disebut kecepatan sesaat.



Apakah yang dimaksud kecepatan rata-rata dan kecepatan sesaat tersebut?  
Perhatikan uraian di bawah ini!

Dari gambar 1.7 di bawah diperoleh:



Gambar 1.7 Vektor posisi

Secara vektor dapat dinyatakan:  $\vec{r}_1 + \vec{\Delta r} = \vec{r}_2$  atau  $\vec{\Delta r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

Jika  $\vec{r}_1 = x_1 \vec{i} - y_1 \vec{j} + z_1 \vec{k}$

$\vec{r}_2 = x_2 \vec{i} - y_2 \vec{j} + z_2 \vec{k}$

maka  $\vec{\Delta r} = (x_2 - x_1) \vec{i} + (y_2 - y_1) \vec{j} + (z_2 - z_1) \vec{k}$

Jika perpindahan benda dari A ke B berlangsung selama  $\Delta t$ , maka yang dimaksud kecepatan rata-rata adalah perbandingan perubahan posisi (perpindahan) dengan perubahan waktu.

Jika kecepatan rata-rata dinyatakan dengan  $\vec{V}_R$ , maka diperoleh:

$$\vec{v}_R = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} = \frac{(x_2 - x_1) \vec{i} + (y_2 - y_1) \vec{j} + (z_2 - z_1) \vec{k}}{\Delta t}$$

$$\vec{v}_R = \frac{\Delta x \vec{i} + \Delta y \vec{j} + \Delta z \vec{k}}{\Delta t}$$

Jika dalam perpindahan benda dari A ke B tersebut dalam waktu yang mendekati nol, maka kecepatan benda menyatakan kecepatan sesaat. Dengan

demikian kecepatan sesaat  $\vec{v}$  dapat dihitung dari kecepatan rata-rata dengan membuat  $\Delta t$  mendekati nol. Dalam matematika kecepatan sesaat benda tersebut dapat dinyatakan:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} \text{ atau } \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Dengan demikian, kecepatan sesaat merupakan turunan I dari fungsi vektor posisi.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{v} \cdot dt = d\vec{r}$$

$$\int \vec{v} \cdot dt = \int_{r_0}^n \vec{dr}$$

$$\int \vec{v} \cdot dt = \vec{r}_t - \vec{r}_0$$

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_0 + \int \vec{v} \cdot dt$$

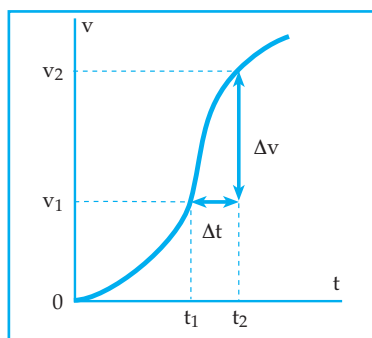
$\vec{r}_t$  = posisi titik partikel setelah t

$\vec{r}_0$  = posisi titik partikel mula-mula

Posisi titik partikel dapat ditentukan dari fungsi kecepatan.

#### 4. Percepatan Rata-rata dan Percepatan Sesaat

Karena kecepatan gerak benda pada umumnya tidak tetap, maka didapat percepatan rata-rata. Untuk memahami percepatan rata-rata, perhatikan grafik hubungan kecepatan gerak benda terhadap waktu di bawah ini.



Gambar 1.8 Percepatan rata-rata

Dari gambar 1.8 di samping, jika dalam waktu  $\Delta t$  terjadi perubahan kecepatan sebesar  $\Delta \vec{v}$ , maka yang dimaksud percepatan

rata-rata  $\left( \vec{a}_R \right)$  adalah perbandingan perubahan kecepatan dengan perubahan waktu.

$$\left( \vec{a}_R \right) = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Percepatan sesaat  $\left( \vec{a} \right)$  dapat dihitung dari percepatan rata-rata dengan membuat  $\Delta t$  mendekati nol.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

atau

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Dengan demikian percepatan sesaat merupakan turunan I dari fungsi kecepatan atau turunan II dari fungsi posisi

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{a} \cdot dt = d\vec{v}$$

$$\int \vec{a} \cdot dt = \int_{v_0}^{v_t} d\vec{v}$$

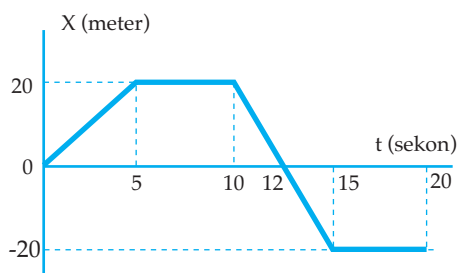
$$\int \vec{a} \cdot dt = \vec{v}_t \pm \vec{v}_0$$

$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + \int \vec{a} \cdot dt$$

Fungsi kecepatan dapat ditentukan dari fungsi percepatan.

### Kegiatan 1.3

Diskusikan permasalahan berikut dengan kelompok Anda!



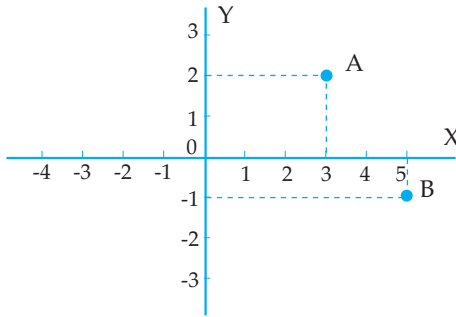
Gambar di atas menyatakan grafik hubungan kedudukan benda bergerak (x) dengan waktu (t).

Dari grafik tersebut hitunglah:

- kecepatan rata-ratanya
- laju rata-ratanya

### Contoh Soal 1.3

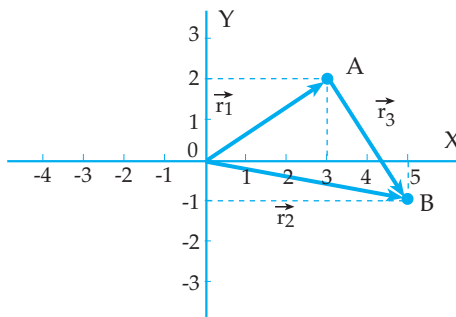
1.



Dari gambar di samping jika titik O adalah titik potong sumbu x dan sumbu y, tentukan:

- a. gambar vektor posisi titik A terhadap titik O juga vektor posisi titik B terhadap titik O
- b. vektor posisi titik A terhadap titik O dan vektor posisi titik B terhadap titik O dalam vektor satuan
- c. nyatakan vektor posisi titik B terhadap titik A dalam vektor satuan

*Penyelesaian*



- a.  $\vec{r}_1$  = vektor posisi titik A terhadap titik O  
 $\vec{r}_2$  = vektor posisi titik B terhadap titik O
- b.  $\vec{r}_1 = 3\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$   
 $\vec{r}_2 = 5\mathbf{i} - \mathbf{j}$
- c.  $\vec{r}_3$  = vektor posisi titik B terhadap titik A  
 $\vec{r}_3 = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$   
 $\vec{r}_3 = (5\mathbf{i} - \mathbf{j}) - (3\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) = 2\mathbf{i} - 3\mathbf{j}$

2. Sebuah titik partikel bergerak pada sumbu x dengan persamaan  $x = (3t^3 + 2t^2 - 10t + 5)$  meter. Tentukan:
- posisi awal titik partikel
  - kecepatan rata-rata dalam 2 sekon pertama
  - kecepatan awal titik partikel
  - percepatan rata-rata dalam 4 sekon pertama
  - percepatan partikel pada saat  $t = 10$  sekon
  - kecepatan partikel pada saat  $t = 5$  sekon

*Penyelesaian*

a.  $X = (3t^3 + 2t^2 - 10t + 5)$  meter

$$t = 0 \rightarrow X_0 = 5 \text{ meter}$$

b.  $X = (3t^3 + 2t^2 - 10t + 5)$  meter

$$t_1 = 0 \rightarrow X_1 = 5 \text{ meter}$$

$$t_2 = 2 \rightarrow X_2 = 24 + 8 - 20 + 5 = 17 \text{ meter}$$

$$v_R = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1} = \frac{17 - 5}{2 - 0} = 6 \text{ m/s}$$

c.  $v = \frac{dy}{dt} = \frac{d(3t^3 + 2t^2 - 10t + 5)}{dt} = 9t^2 + 4t - 10$

$$t = 0 \rightarrow v_0 = -10 \text{ m/s}$$

d.  $v = 9t^2 + 4t - 10$

$$t_1 = 0 \rightarrow v_1 = -10 \text{ m/s}$$

$$t_2 = 4 \rightarrow v_2 = 150 \text{ m/s}$$

$$a_R = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{150 - (-10)}{4 - 0} = 40 \text{ m/s}^2$$

e.  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(9t^2 + 4t - 10)}{dt} = 18t + 4$

$$t = 10 \rightarrow a = 184 \text{ m/s}^2$$

f.  $v = 9t^2 + 4t - 10$

$$t = v = 235 \text{ m/s}$$

3. Sebuah titik partikel bergerak pada garis lurus dengan kecepatan awal 2 m/s dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ . Jika posisi awal titik partikel terhadap titik acuan = 10 m, tentukan:

- kecepatan titik partikel pada saat  $t = 2$  sekon
- kecepatan rata-rata titik partikel antara 3 sekon sampai 5 sekon

*Penyelesaian*

Diketahui:  $v_0 = 2 \text{ m/s}$ ;  $a = 1 \text{ m/s}^2$ ;  $r_0 = 10 \text{ m}$

Ditanya: a.  $v$  untuk  $t = 2$  sekon

b.  $v_R$  untuk  $t = 3$  sekon sampai 5 sekon

Jawab:

$$\text{a. } v = v_0 + \int_0^t a \cdot dt$$

$$v = 2 + \int_0^t 1 \cdot dt = (2 + t) \text{ m/s}$$

$$t = 2 \text{ sekon} \rightarrow v = 4 \text{ m/s}$$

$$\text{b. } r = r_0 + \int_0^t v \cdot dt$$

$$r = 10 + \int_0^t (2 + t) \cdot dt = (10 + 2t + \frac{1}{2}t^2) \text{ meter}$$

$$t_1 = 3 \text{ sekon maka } r_1 = 20,5 \text{ meter}$$

$$t_2 = 5 \text{ sekon maka } r_2 = 32,5 \text{ meter}$$

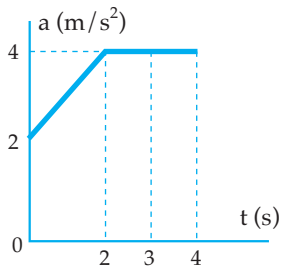
$$v_R = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} = \frac{32,5 - 20,5}{5 - 3} = 6 \text{ m/s}$$

## Uji Pemahaman 1.2

**Kerjakan soal berikut!**

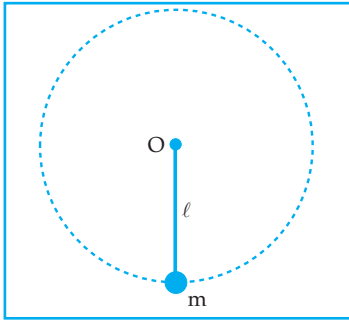
- Sebuah partikel bergerak pada bidang XOY dengan persamaan  $r = (t^2 - 2t + 4)\mathbf{i} + (3t^2 + t - 5)\mathbf{j}$  (satuan dalam SI). Tentukan kecepatan pada  $t = 2$  sekon!
- Sebuah partikel bergerak lurus dengan percepatan  $a = (2 - 3t^2) \text{ m/s}^2$ . Jika kecepatan dan perpindahan partikel pada waktu  $t = 1$  sekon adalah  $v_1 = 3 \text{ m/s}$  dan  $S_1 = \frac{3}{4} \text{ m}$ . Tentukan kecepatan dan perpindahan partikel sebagai fungsi waktu!
- Sebuah partikel bergerak lurus dengan kecepatan  $v = (2t^3 + 3t^2 + 9) \text{ m/s}$ . Jika pada saat  $t = 2$  sekon posisi partikel  $s = 6 \text{ m}$ . Tentukan:
  - kecepatan rata-rata dalam 10 sekon pertama
  - percepatannya pada saat posisi partikel  $s = 164 \text{ meter}$

4.



Benda bermassa 2 kg bergerak dari keadaan diam dan mengalami percepatan seperti pada gambar di samping. Hitunglah kecepatan benda pada saat  $t = 3$  detik!

## B. GERAK MELINGKAR (ROTASI)



Keterangan:

O = titik pusat lingkaran

$\ell$  = panjang tali penggantung

m = massa benda

Gambar 1.9

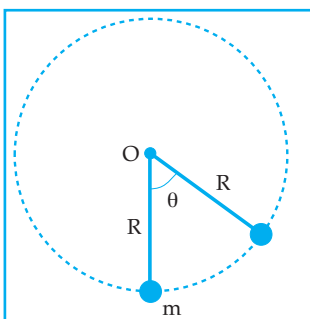
Benda digantungkan dengan tali diputar pada bidang vertikal

Gambar 1.9 menjelaskan sebuah benda yang digantung dengan tali dan diputar pada bidang vertikal. Ternyata lintasan yang dilalui oleh benda adalah lintasan melingkar. Gerak sebuah benda dengan lintasan berbentuk lingkaran disebut gerak melingkar.

### Kegiatan 1.4

Sebutkan empat buah benda yang melakukan gerak melingkar!

Agar dapat memahami persamaan-persamaan benda yang melakukan gerak melingkar, perhatikan uraian berikut.



Gambar 1.10 Gerak melingkar

Keterangan:

O = titik pusat lingkaran

R = jari-jari lingkaran

m = massa partikel

$\theta$  = sudut pusat lingkaran yang ditempuh partikel

Gambar tersebut menjelaskan sebuah partikel dengan massa m melakukan gerak melingkar dengan jari-jari R.



Selama partikel melakukan gerak melingkar, posisinya selalu berubah.

Misalnya partikel tersebut bergerak melingkar dengan jari-jari 10 cm dan setiap sekon dapat menempuh sudut 0,1 Radian maka posisi partikel setiap saat dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 1.2

Waktu (sekon)	Sudut yang ditempuh (radian)	Jari-jari (cm)	Posisi partikel
0	0	10	(10 cm, 0)
1	0,1	10	(10 cm; 0,1 Rad)
2	0,2	10	(10 cm; 0,2 Rad)
3	0,3	10	(10 cm; 0,3 Rad)
4	0,4	10	(10 cm; 0,4 Rad)

Cara menyatakan posisi partikel tersebut disebut cara koordinat polar.

Secara umum posisi partikel yang melakukan gerak melingkar dapat dinyatakan dengan koordinat polar

$$r = (R, \theta)$$

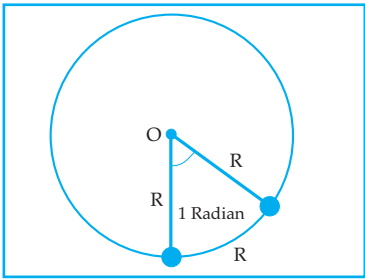
$r$  = posisi partikel yang melakukan gerak melingkar

$R$  = jari-jari (satuan dalam SI adalah meter)

$\theta$  = sudut yang ditempuh (satuan dalam SI adalah Radian)

1. Pengertian Sudut 1 Radian

Sudut 1 Radian adalah sudut pusat lingkaran dengan panjang busur lingkaran sama dengan jari-jari lingkaran.



Gambar 1.11 Sudut 1 Radian

Dari gambar 1.11 didapat  $2\pi$  Radian =  $360^\circ$

$$1 \text{ Radian} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6,28}$$

$$1 \text{ Radian} = 57,32^\circ$$

Selama benda melakukan gerak melingkar maka kecepatan benda selalu berubah-ubah.

Bagaimanakah arah kecepatan benda yang melakukan gerak melingkar? Untuk memahami gerak melingkar, lakukan percobaan berikut!



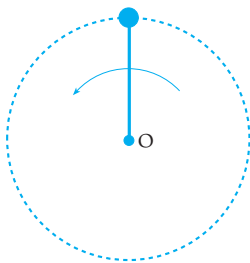
### Percobaan 1.1 : Arah Gerak Melingkar



Gantungkan benda dengan tali OA yang panjangnya 1 meter. Pegang ujung O dengan tangan dan putarlah benda sehingga benda berputar pada bidang vertikal dengan pusat perputaran di titik O. Setelah beberapa saat benda berputar dan pada saat posisi benda di tempat tertinggi, lepaskan tali dari tangan, serta perhatikan arah gerak benda pada saat tali terlepas dari tangan!

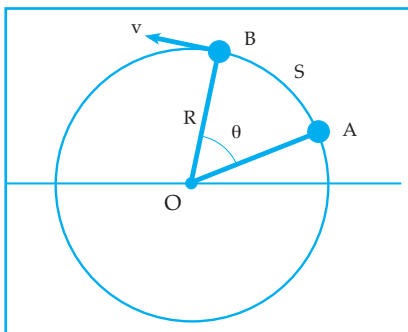
Diskusikan dengan kelompok Anda tentang arah gerak benda sesaat setelah tali terlepas dari tangan, dan gambarlah arah benda tersebut pada gambar di bawah!

1. Arah kecepatan benda sesaat tali terlepas dari tangan.
- 2.



Apakah yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan tersebut?

## 2. Hubungan Kelajuan Linear dan Kecepatan sudut



Gambar 1.12  
Partikel berputar pada lingkaran  
berjari-jari R

Gambar 1.12 sebuah partikel bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan = R. Selama partikel bergerak melingkar dengan kecepatan v menyinggung lingkaran, dan arah tegak lurus pada jari-jari R.

Dari gambar 1.11 terlihat bahwa  $S = R \cdot \theta$  sehingga:

$$v = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\theta}{dt}$$

Perubahan sudut yang disapu R setiap detik, dinamakan kecepatan sudut yang diberi lambang  $\omega$ .

Kecepatan sudut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Jika kecepatan V (dalam hal ini dinamakan kecepatan tangensial atau kecepatan linear), dihubungkan dengan kecepatan sudut, maka diperoleh persamaan:

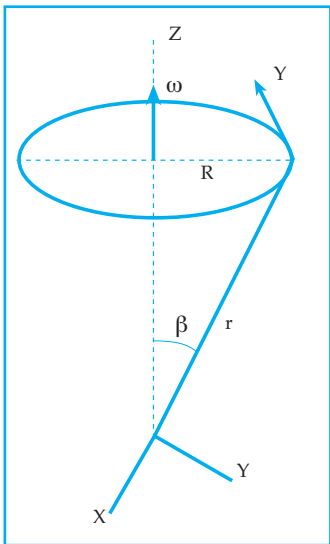
$v = \omega R$

$v$  = kecepatan linear (m/s)

$\omega$  = kecepatan sudut (Rad/s)

$R$  = jari-jari lingkaran (m)

Kecepatan sudut  $\omega$  dinyatakan sebagai kuantitas vektor di mana arahnya tegak lurus pada bidang gerakan putar kanan suatu sekrup, seperti terlihat pada gambar di bawah:



Gambar 1.13 Arah kecepatan sudut

Dari gambar 1.13 bahwa  $R = r \sin \beta$  sehingga  $V = \omega dt$  atau secara vektor ditulis:  $v = \omega \times r$  ini berlaku apabila pada gerak melingkar dengan r dan  $\beta$  yang selalu tetap.

Jika sekali berputar atau satu periode memerlukan waktu T serta banyaknya putaran tiap detik atau frekuensi sama dengan f,

maka:

$f = \frac{1}{T}$

Frekuensi diukur dalam satuan per detik atau hertz (Hz).

### 3. Percepatan Sentripetal dan Gaya Sentripetal

Dari persamaan  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$  diperoleh  $d\theta = \omega \cdot dt$

$$\int_{\theta_o}^{\theta_1} d\theta = \int \omega \cdot dt$$

Jika nilai  $\omega$  konstan, maka:

$$\theta_t - \theta_o = \omega \cdot t$$

$$\theta_t = \theta_o + \omega t$$

$\theta_t$  = posisi sudut yang ditempuh pada saat  $t$

$\theta_o$  = posisi sudut mula-mula

$\omega$  = kecepatan sudut

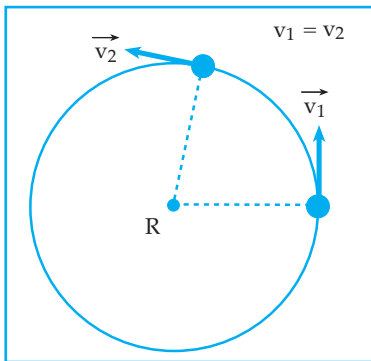
$t$  = waktu

jika pada saat  $t = 0$ ;  $\theta_o = 0$ , maka:

$$\theta_t = \omega t$$

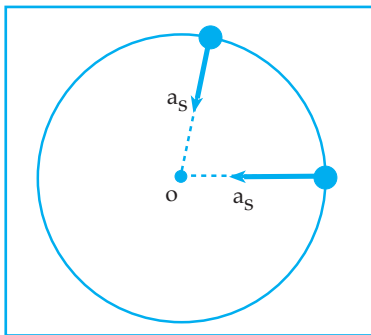
$v = \omega \cdot R$ , jika  $\omega$  konstan dan  $R$  konstan, maka nilai  $v$  juga konstan.

Gerak melingkar dengan kelajuan linear konstan disebut Gerak Melingkar Beraturan (GMB).



Gambar 1.14  
Gerak melingkar beraturan

Pada gerak melingkar beraturan, walaupun kelajuan linearnya tetap ( $v_1 = v_2$ ) tetapi kecepatannya selalu berubah ( $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$ ), sehingga pada gerak melingkar beraturan terdapat percepatan yang disebut percepatan sentripetal dengan lambang  $a_s$ , yaitu percepatan yang arahnya selalu menuju titik pusat lingkaran.



Gambar 1.15 Percepatan sentripetal

Keterangan:

titik O = titik pusat lingkaran

Besar percepatan sentripetal:

$$a_s = -\frac{v^2}{R} = -\omega^2 \cdot R$$

Jika massa partikel yang melakukan gerak melingkar sama dengan  $m$ , maka gaya yang menimbulkan percepatan sentripetal disebut gaya sentripetal ( $F_s$ ), yaitu gaya yang arahnya selalu menuju titik pusat lingkaran.

Berdasarkan HK II Newton:

$$F_s = m \cdot a_s = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 \cdot R$$

$F_s$  = gaya sentripetal (N)

$m$  = massa (kg)

$a_s$  = percepatan sentripetal ( $m/s^2$ )

$v$  = kelajuan linear ( $m/s$ )

$\omega$  = kecepatan sudut (Rad/s)

$R$  = jari-jari (m)

### Contoh Soal 1.4

1. Sebuah titik partikel melakukan gerak melingkar dengan jari-jari lintasan 10 cm dan persamaan posisi sudut yang ditempuh  $\theta = (0,5 + 2t)$  Radian. Tentukan posisi titik partikel pada saat  $t = 2$  sekon!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $R = 10$  cm

$\theta = (0,5 + 2t)$  Radian

Ditanya:  $r$  untuk  $t = 2$  sekon

Jawab:

$$\theta = 0,5 + 2t$$

Untuk  $t = 2$  sekon maka:

$$\theta = 0,5 + 4$$

$$\theta = 4,5 \text{ Radian}$$

$$r = (R, \theta)$$

$$r = (10 \text{ cm}; 4,5 \text{ Radian})$$

2. Sebuah titik partikel dengan massa 20 gram melakukan gerak melingkar beraturan dengan jari-jari lintasan 1 meter dengan persamaan posisi sudut  $\theta = 10 t$  Radian.

Tentukan:

- a. kelajuan linear titik partikel
- b. percepatan sentripetal titik partikel
- c. gaya sentripetal yang bekerja pada titik partikel

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 20 \text{ gram} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

Ditanya: a.  $v$

b.  $a_s$

c.  $F_s$

Jawab:

a. 
$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(10t)}{dt}$$

$$\omega = 10 \text{ Rad/s}$$

$$v = \omega \cdot R = 10 \cdot 1 = 10 \text{ m/s}$$

b. 
$$a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{100}{1} = 100 \text{ m/s}^2$$

c. 
$$F_s = m \cdot a_s = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 100 = 2 \text{ N}$$

#### 4. Gerak Melingkar Beraturan (GMB)

Gerak melingkar beraturan memiliki nilai kecepatan sudut ( $\omega$ ) konstan, sehingga periodenya juga konstan. Dengan demikian kelajuan linearnya dapat dinyatakan dengan persamaan:  $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$

Kecepatan sudutnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

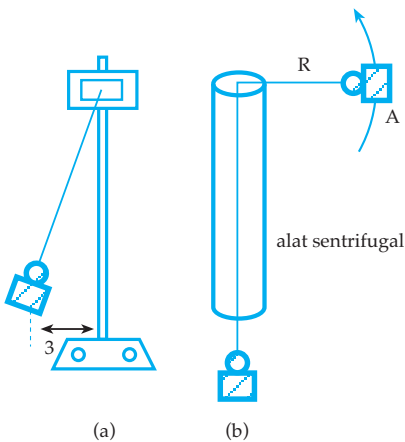
Sudut yang ditempuh setiap saat dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\theta = \omega \cdot t$$

atau

$$\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$$

#### Percobaan 1.2: Gerak Melingkar Beraturan



Gantungkan beban 100 gram dengan benang yang panjangnya 1 m pada statif (gambar (a)). Simpangkan beban 3 cm dari titik setimbang, kemudian lepaskan beban tersebut, sehingga beban berayun. Hitunglah waktu yang diperlukan untuk 10 ayunan:  $t = \dots$  sekon. Hitung periode

ayunan:  $T = \frac{t}{10} = \dots$  sekon. Hitung per-

cepatan gravitasi:  $g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2} = \dots \text{ m/s}^2$ , di

mana  $\pi^2 = 10$ .

Rangkailah alat sentrifugal (gambar (b)) dengan  $m_A = 25 \text{ gram}$ ;  $m_B = 50 \text{ gram}$ . Putarlah beban A, sedemikian sehingga sistem setimbang dan hitunglah waktu yang diperlukan oleh benda A untuk 10 putaran, kemudian hentikan gerakan benda A dan ukurlah panjang tali ( $R$ );  $t = \dots \text{ sekon}$ ,  $T = \dots \text{ sekon}$ , dan  $R = \dots \text{ meter}$ . Ulangi kegiatan tadi; gantilah massa beban B dengan 100 gram ( $m_B = 100 \text{ gram}$ ) dan masukkan data yang Anda peroleh pada tabel. Adapun kolom yang dibuat pada tabel adalah:

$$m_A \text{ (kg)}, m_B \text{ (kg)}, \left(\frac{m_A}{m_B}\right) \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}, R, T, \text{ dan } \left[\frac{4\pi^2}{T^2}\right] \cdot R$$

Bagaimanakah nilai dari  $\left(\frac{m_A}{m_B}\right) \cdot g$  dan nilai dari  $\left[\frac{4\pi^2}{T^2}\right] \cdot R$  ?

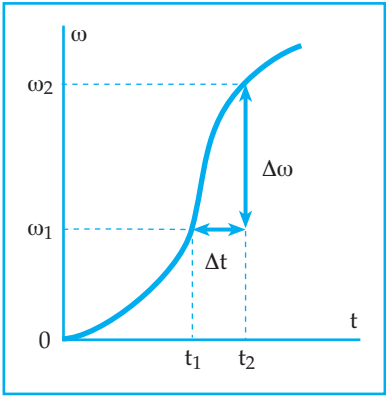
Tulis kesimpulan yang Anda dapatkan dari percobaan tersebut!

### Informasi

$\left[\frac{4\pi^2}{T^2}\right] \cdot R$  adalah nilai percepatan sentripetal benda A selama melakukan gerak melingkar beraturan.

### 5. Percepatan Sudut

Sebuah titik partikel ketika melakukan gerak melingkar sangat mungkin kecepatan sudutnya selalu berubah terhadap waktu, sehingga grafik hubungan kecepatan sudut terhadap waktu seperti terlihat pada gambar 1.16 di bawah.



Gambar 1.16 Grafik hubungan kecepatan sudut terhadap waktu

Jika selama selang waktu  $\Delta t$  terjadi perubahan kecepatan sudut sebesar  $\Delta \omega$ , maka percepatan rata-rata dalam selang waktu  $\Delta t$  dinyatakan dengan:

$$\alpha_R = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$\alpha_R$  = percepatan sudut rata-rata

Jika nilai  $\Delta t$  mendekati nol, maka percepatan sudutnya disebut percepatan sudut sesaat.



$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

Percepatan sudut sesaat merupakan turunan I dari kecepatan sudut.

Dari persamaan  $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$  diperoleh:

$$d\omega = \alpha \cdot dt$$

$$\int_{\omega_0}^{\omega_t} d\omega = \int \alpha \cdot dt$$

$$\omega_t - \omega_0 = \int \alpha \cdot dt$$

$$\omega_t - \omega_0 = \int \alpha \cdot dt$$

Kecepatan sudut dapat diperoleh dari percepatan sudut.

Dari persamaan  $\omega_t = \omega_0 + \int \alpha \cdot dt$ , jika nilai  $\alpha$  konstan diperoleh:

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t$$

$$\int_{\theta}^{\theta} d\theta = \int \omega \cdot dt$$

$$\int_{\theta}^{\theta} d\theta = \int (\omega_0 + \alpha t) dt$$

$$\int_{\theta}^{\theta} d\theta = \int \omega_0 \cdot dt + \int (\alpha t) \cdot dt$$

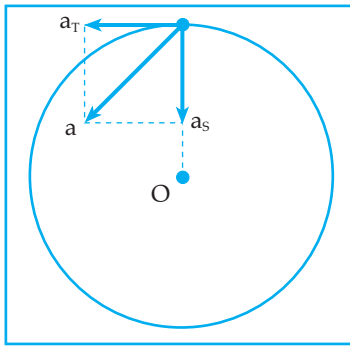
$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

Jika pada saat  $t = 0$  ;  $\theta_0 = 0$ , maka:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

Gerak melingkar dengan  $\alpha$  konstan disebut gerak melingkar berubah beraturan (GMBB). Pada gerak melingkar berubah beraturan terdapat 2 macam percepatan, yaitu percepatan tangensial ( $a_t$ ) dan percepatan sentripetal ( $a_s$ ).



Gambar 1.17  
Percepatan sentripetal dan  
percepatan tangensial

Keterangan :

$a_s$  = percepatan sentripetal ( $m/s^2$ )

$a_T$  = percepatan tangensial ( $m/s^2$ )

$a$  = percepatan total ( $m/s^2$ )

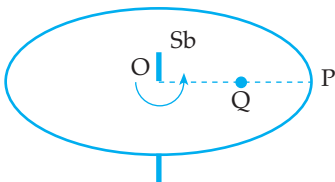
$$a_r = \frac{dV}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = \alpha \cdot R$$

$$a_s = \frac{V^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_s^2}$$

### Contoh Soal 1.5

1.



Gambar di samping melukiskan sebuah piringan hitam yang sedang berputar beraturan dengan sumbu putar melalui tengah-tengah piringan hitam (titik O). Titik P berada di bagian pinggir piringan hitam dan titik Q di tengah-tengah antara O dan P.

Tentukan:

- perbandingan kecepatan sudut dari titik P dan Q
- perbandingan kelajuan linear dari titik P dan titik Q

*Penyelesaian*

$$R_P = 2 R_Q$$

- Karena jika titik P sekali berputar, titik Q juga sekali berputar  $\omega_P = \omega_Q$

$$\text{atau } \frac{\omega_P}{\omega_Q} = 1$$

$$\text{b. } \frac{\omega_P}{\omega_Q} = \frac{\omega_P \cdot R_P}{\omega_Q \cdot R_Q} = \frac{2}{1}$$

- Sebuah titik partikel melakukan gerak melingkar berubah beraturan dengan jari-jari lintasan 0,5 dan persamaan posisi sudut terhadap waktu  $\theta = (0,1 + 2t + t^2)$  Radian.

Tentukan percepatan total titik partikel pada saat  $t = 2$  sekon!

*Penyelesaian*

$$\text{Diketahui: } R = 0,5 \text{ m}$$

$$\theta = (0,1 + 2t + t^2) \text{ Radian}$$

$$t = 2 \text{ sekon}$$

Ditanya:  $a = \dots?$

Jawab:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(0,1 + 2t + t^2)}{dt}$$

$$\omega = 2 + 2t$$

Untuk  $t = 2$  sekon maka  $\omega = 2 + 4 = 6 \text{ Rad/s}$

$$a_s = \omega^2 R = 36 \cdot 0,5 = 18 \text{ m/s}^2$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d(2 + 2t)}{dt}$$

$$\alpha = 2 \text{ Rad/s}^2$$

$$a_T = \alpha \cdot R = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ m/s}^2$$

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_s^2}$$

$$a = \sqrt{1^2 + 18^2} = \sqrt{325}$$

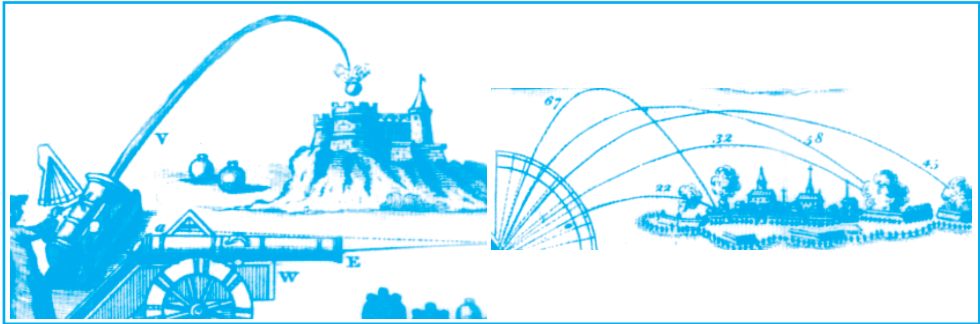
$$a = 18,03 \text{ m/s}^2$$

### Uji Pemahaman 1.3

**Kerjakan soal berikut!**

- Sebuah roda berputar dengan posisi sudut  $\theta = (-t^3 + 12t^2 + 3)$  radian  
Tentukan:
  - kecepatan sudut rata-rata dalam waktu 4 sekon pertama
  - waktu yang diperlukan agar percepatan sudut roda = nol
- Sebuah benda yang pada saat  $t = 0$  mempunyai  $\theta_0 = 0$  dan  $\omega_0 = 0$  kemudian dipercepat dalam suatu lintasan melingkar dengan jari-jari 10 m menurut persamaan  $\alpha = (12t^2 - 18t - 20) \text{ Rad/s}^2$ . Pada saat  $t = 2$  sekon, tentukan:
  - posisi sudut
  - percepatan sudut
  - percepatan tangensial
  - percepatan sentripetal
- Sebuah partikel melakukan gerak rotasi dengan jari-jari 0,5 m dan persamaan lintasan yang ditempuh  $S = (4t^2 + 2t)$  meter. Tentukan:
  - kecepatan sudut partikel pada detik ke-2
  - posisi partikel pada detik ke-1
- Sebuah partikel melakukan gerak rotasi dengan persamaan  $S = \frac{3}{2}t^2 + 2t$  (satuan dalam SI). Jika pada saat  $t = 2$  sekon percepatan totalnya 5 m/s, hitung jari-jari lingkaran!

C. GERAK PARABOLA



Gambar 1.18 Penembakan peluru dan meriam (Sumber: Jendela Iptek-Gaya dan Gerak)

Gambar 1.18 adalah sebuah peluru yang ditembakkan dari sebuah meriam dengan kecepatan awal tertentu dan dengan sudut kecondongan tertentu pula. Ternyata lintasan yang dilalui oleh peluru berupa lintasan melengkung.

Kegiatan 1.5

Sebutkan 4 gerakan benda yang lintasannya melengkung seperti lintasan peluru tersebut!

Gerak peluru dengan lintasan melengkung tersebut disebut gerak parabola. Apakah sebenarnya gerak parabola itu?

Untuk memahami gerak parabola terlebih dahulu kita perhatikan hasil perpaduan gerak dari sebuah benda yang melakukan dua gerakan langsung pada bidang datar.

Misalnya, persamaan gerak pada:

Sumbu x :  $X_t = 2t$

Sumbu y :  $Y_t = 4t - t^2$

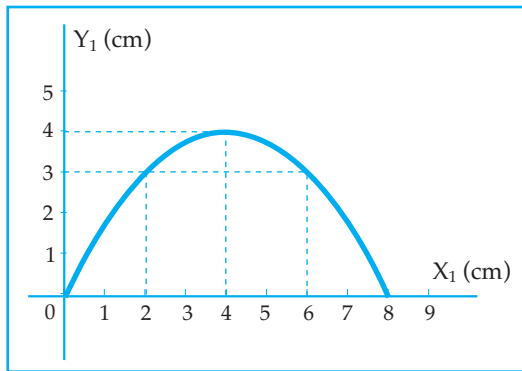
( $X_t$  dan  $Y_t$  dalam cm; t dalam sekon)

Untuk mengetahui bentuk lintasan hasil perpaduannya terlebih dahulu kita lihat isi tabel di bawah ini!

Tabel 1.3

t (sekon)	$X_t$ (cm)	$Y_t$ (cm)
0	0	0
1	2	3
2	4	4
3	6	3
4	8	0

Jika diambil nilai  $t$  yang berdekatan, maka grafik hasil perpaduan lintasan pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  terlihat seperti di bawah ini.

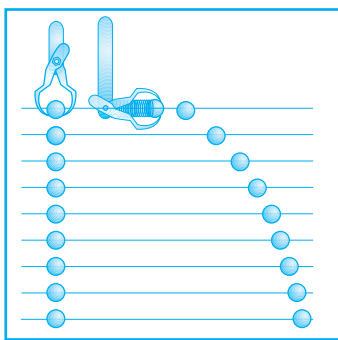


Gambar 1.19 Lintasan gerak parabola

Persamaan gerak pada sumbu  $x$  adalah persamaan gerak lurus beraturan.

Persamaan gerak pada sumbu  $y$  adalah persamaan gerak lurus berubah beraturan diperlambat. Ternyata gerak hasil perpaduannya berupa gerak parabola.

Untuk membahas gerak parabola, perhatikan dulu sketsa hasil pemotretan dua benda yang bergerak dari tempat yang sama.



Gambar 1.20

Sketsa hasil pemotretan dua benda yang dilepas pada saat yang sama. Benda yang dilempar horizontal memiliki percepatan ke bawah yang sama seperti benda dijatuhkan secara bebas.

(Sumber: Doc. Mefi Caraka)

Gambar 1.20 menunjukkan hasil pemotretan gerakan dua benda. Benda pertama jatuh bebas, sedangkan benda kedua dilempar dengan kecepatan awal  $v_0$  arah mendatar.

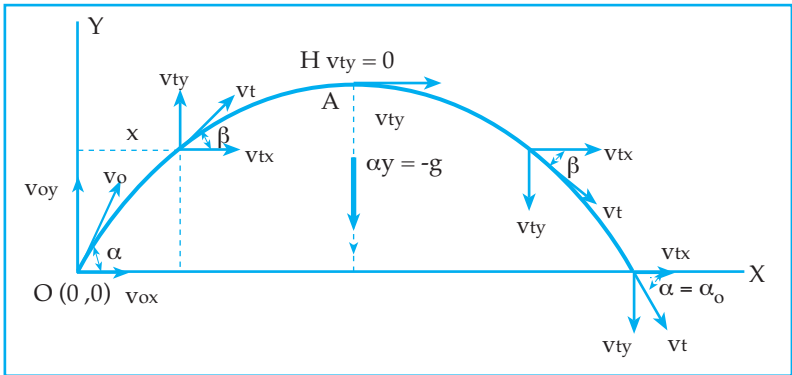
Kedua benda jatuh ke bawah secara serempak. Gerakan arah vertikal mengikuti gerak lurus berubah beraturan dan gerak arah mendatar mengikuti gerak lurus beraturan. Lintasan yang dilalui oleh benda kedua adalah lintasan parabola.

Dalam tulisan berjudul *Discourses On Two New Sciences*, Galileo mengemukakan sebuah ide yang sangat berguna dalam menganalisis gerak parabola.

Dia menyatakan bahwa gerak parabola dapat dipandang sebagai perpaduan gerak lurus beraturan pada sumbu horisontal (sumbu  $x$ ) dan gerak lurus berubah beraturan pada sumbu vertikal (sumbu  $y$ ) secara terpisah.

Tiap gerakan ini tidak saling mempengaruhi tetapi gabungannya tetap menghasilkan gerak menuju ke bumi. Bagaimanakah bentuk persamaan gerak parabola tersebut?

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 1.21 Gerak parabola

Gambar 1.21 sebuah benda yang dilempar dengan kecepatan awal  $v_o$  dan sudut kecondongan (sudut elevasi) sebesar  $\alpha$  sehingga benda melakukan gerak parabola.

Jika kecepatan awal  $v_o$  diuraikan pada sumbu x dan sumbu y di dapat  $v_{ox}$  dan  $v_{oy}$  dimana:

$$v_{ox} \quad : \quad v_o \cos \alpha$$

$$v_{oy} \quad : \quad v_o \sin \alpha$$

Untuk selanjutnya mari kita bahas dulu gerakan benda pada sumbu x dan sumbu y

*Gerak pada Sumbu x (Gerak Lurus Beraturan)*

Kecepatan awal adalah  $v_{ox} = v_o \cos \alpha$

Karena gerak pada sumbu x adalah gerak lurus beraturan, maka kecepatan setelah t adalah:

$$v_{tx} = v_{ox} = v_o \cos \alpha$$

Perpindahan yang ditempuh setelah t adalah:

$$X_t = v_{ox} \cdot t = v_o \cos \alpha \cdot t$$

*Gerak pada Sumbu y (Gerak Lurus Berubah Beraturan)*

Gerak pada sumbu y selalu mendapatkan percepatan  $a_y = -g$  dimana g adalah percepatan gravitasi.

Kecepatan setelah t adalah  $V_{ty} = V_{oy} - gt$

$$v_{ty} = v_o \sin \alpha - gt$$

Perpindahan yang ditempuh setelah t adalah

$$Y_t = v_o \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

*Tempat Kedudukan Setiap Saat (TK)*

Tempat kedudukan benda setiap saat dinyatakan dengan koordinat TK = ( $X_t$ ,  $Y_t$ )

*Kecepatan dan Arah Kecepatan Setiap Saat*

Kecepatan benda setiap saat merupakan resultan dari kecepatan benda pada arah sumbu x dan kecepatan benda pada arah sumbu y, sehingga kecepatan benda setiap saat:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_x = v_o \cos \alpha$$

$$v_y = v_o \sin \alpha - gt$$

Jika arah kecepatan benda setiap saat dinyatakan dengan  $\beta$ , maka:

$$\tan \beta = \frac{v_y}{v_x}$$

*Kedudukan Benda di Tempat Tertinggi*

Pada saat benda berada di tempat tertinggi (di titik A) arah kecepatan mendatar sehingga

$$v_x = v_o \cos \alpha \text{ dan } v_y = 0$$

$$\text{atau } v = v_x = v_o \cos \alpha$$

$$v_y = v_o \sin \alpha - gt$$

$$0 = v_o \sin \alpha - gt$$

$$gt = v_o \sin \alpha$$

$$t = \frac{v_o \sin \alpha}{g}$$

Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mencapai tempat tertinggi:

$$t_{\max} = \frac{v_o \sin \alpha}{g}$$



Pada saat benda mencapai tempat tertinggi, maka jarak mendatar yang ditempuh:

$$X_t = v_o \cos \alpha \cdot t$$

$$X_t = v_o \cos \alpha \cdot \frac{v_o \sin \alpha}{g}$$

$$X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

Tinggi maksimum yang dicapai:

$$Y_t = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$Y_t = v_o \sin \alpha \cdot \frac{v_o \sin \alpha}{g} - \frac{1}{2}g \left( \frac{v_o \sin \alpha}{g} \right)^2$$

$$Y_t = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$Y_t = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

*Kedudukan Benda di Tempat Terjauh*

Pada saat benda di tempat terjauh (di titik B) maka  $Y_t = 0$

$$Y_t = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\frac{1}{2}gt^2 = v_o \sin \alpha t$$

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g}$$

Waktu yang diperlukan oleh sebuah benda untuk mencapai tempat terjauh:

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g}$$

Nilai tersebut dua kali dari nilai waktu yang diperlukan benda untuk mencapai tempat tertinggi. Jarak mendatar yang ditempuh pada saat mencapai tempat terjauh:

$$X_t = v_o \cos \alpha \cdot t$$

$$X_t = v_o \cos \alpha \cdot \frac{2v_o \sin \alpha}{g}$$

$$X_t = \frac{2v_o^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

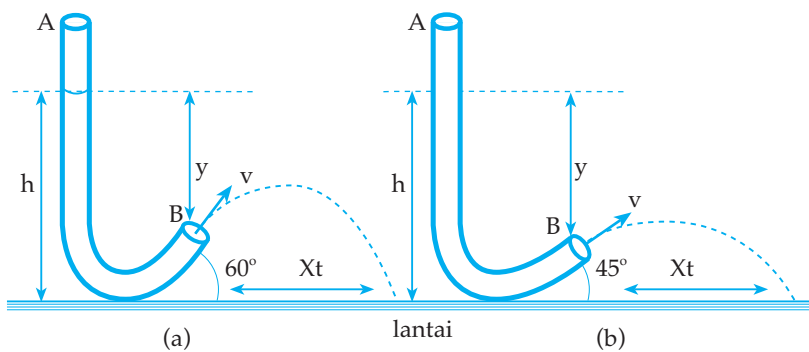
$$X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g}$$



### Percobaan 1.3: Gerak Parabola

Letakkan posisi selang plastik kecil seperti gambar (a). Tutup ujung selang plastik B dengan jari tangan dan isikan air pada selang plastik melalui ujung A setinggi  $h$ . Lepaskan ujung jari penutup dan amati jatuhnya air pada lantai. Ukur jarak terjauh yang dicapai oleh air pertama kali.

Ulangi langkah di atas dengan mengubah sudut elevasi selang seperti gambar (b). Ukur jarak terjauh yang dicapai oleh air pertama kali!



Bagaimanakah jarak mendatar yang dicapai oleh air pada langkah paragraf 1? Bagaimanakah jarak mendatar yang dicapai oleh air pertama kali pada langkah paragraf 2? Apakah yang dapat disimpulkan dari percobaan tersebut?

#### Informasi

Kecepatan air yang keluar dari ujung selang B sebanding dengan akar jarak ujung selang B dan permukaan air dalam selang ( $V \sim \sqrt{y}$ )

### Contoh Soal 1.6

1. Sebuah peluru ditembakkan dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 100 m/s dengan sudut elevasi  $37^\circ$  ( $\sin 37^\circ = 0,6$ ;  $\cos 37^\circ = 0,8$ ). Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka tentukan:

- kecepatan dan arah kecepatan peluru pada saat  $t = 2$  sekon
- tempat kedudukan peluru pada saat  $t = 2$  sekon
- tempat kedudukan peluru pada saat mencapai tempat tertinggi
- jarak mendatar terjauh yang dicapai peluru
- kecepatan dan arah kecepatan peluru pada saat mengenai tanah

*Penyelesaian*

Diketahui:  $v_o = 100 \text{ m/s}$  ;  $\alpha = 37^\circ$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya: a.  $v$  dan  $\beta$  untuk  $t = 2$  sekon

b. TK untuk  $t = 2$  sekon

c. TK di tempat tertinggi

d.  $X_t$  terjauh

e.  $v$  dan  $\beta$  di tempat terjauh

Jawab:

a.  $v_x = v_o \cos \alpha = 100 \cdot \cos 37^\circ = 80 \text{ m/s}$

$$v_y = v_o \sin \alpha - gt = 100 \cdot \sin 37^\circ - 20 = 40 \text{ m/s}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v = \sqrt{6400 + 1600} = 40\sqrt{5} \text{ m/s}$$

$$\tan \beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{40}{80} = \frac{1}{2}$$

$$\beta = 27^\circ$$

b.  $X_t = v_o \cos \alpha \cdot t = 100 \cdot \cos 37^\circ \cdot 2 = 160 \text{ m}$

$$Y_t = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2 = 100 \cdot \sin 37^\circ \cdot 2 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4$$

$$Y_t = 120 - 20 = 100 \text{ m}$$

$$\text{TK} = (X_t, Y_t)$$

$$\text{TK} = (160 \text{ m}, 100 \text{ m})$$

c. Di tempat tertinggi

$$X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{2g} = \frac{2v_o^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2g}$$

$$X_t = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 0,6 \cdot 0,8}{20} = 480 \text{ m}$$

$$Y_t = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{10000 \cdot (0,6)^2}{20} = 180 \text{ m}$$

$$\text{TK} = (X_t, Y_t)$$

$$\text{TK} = (480 \text{ m}, 180 \text{ m})$$

$$d. \quad X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{2v_o^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

$$X_t = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 0,6 \cdot 0,8}{10} = 960 \text{ m}$$

e. Waktu untuk mencapai tempat terjauh

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 0,6}{10} = 12 \text{ sekon}$$

$$v_x = v_o \cos \alpha = 100 \cdot 0,8 = 80 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_o \sin \alpha - gt = 100 \cdot 0,6 - 10 \cdot 12 = -60 \text{ m/s}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(80)^2 + (-60)^2} = 100 \text{ m/s}$$

$$\tan \beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-60}{80} = -\frac{3}{4}$$

$$\beta = -37^\circ \text{ atau } \beta = 360^\circ - 37^\circ = 323^\circ$$

2. Sebuah benda dilempar dengan kecepatan awal  $v_o$  dan dengan sudut elevasi  $\alpha$  sehingga benda melakukan gerak parabola. Agar benda dapat mencapai jarak mendatar terjauh, tentukan besar sudut  $\alpha$  yang diperlukan!

*Penyelesaian*

Jarak mendatar terjauh pada gerak parabola dinyatakan dengan persamaan.

$$X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Dengan nilai  $v_o$  dan  $g$  yang konstan maka nilai  $X_t$  tergantung pada nilai  $\sin 2\alpha$ .

Nilai  $\sin 2\alpha$  mencapai maksimum jika:

$$\sin 2\alpha = 1$$

$$2\alpha = 90^\circ$$

$$\alpha = 45^\circ$$

Jadi, agar benda dapat mencapai jarak mendatar terjauh, sudut elevasi yang diperlukan  $\alpha = 45^\circ$ .

3. Sebuah bola sepak ditendang dengan sudut elevasi  $53^\circ$  sehingga bola bergerak parabola dan melayang di udara selama 4 sekon.

Hitunglah tinggi maksimum yang dapat dicapai oleh bola jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ !

*Penyelesaian*

Diketahui:  $\alpha = 53^\circ$ ;  $t = 4 \text{ sekon}$

Ditanya:  $Y_{\max}$

Jawab:

Bola melayang di udara selama bola mulai saat ditendang sampai bola mencapai jarak terjauh. Waktu yang diperlukan untuk mencapai jarak terjauh

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g}$$

$$4 = \frac{2v_o \sin 53^\circ}{10}$$

$$4 = \frac{2v_o \cdot 0,8}{10}$$

$$v_o = \frac{40}{1,6} = 25 \text{ m/s}$$

$$Y_{\max} = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$Y_{\max} = \frac{625 \cdot 0,64}{20}$$

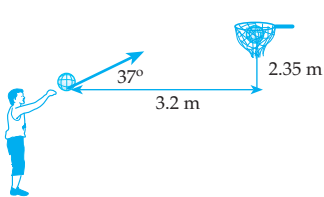
$$Y_{\max} = 20 \text{ m}$$

## Uji Pemahaman 1.4

### Kerjakan soal berikut!

- Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan awal 100 m/s dengan sudut elevasi 30°. Tentukan:
  - kecepatan dan tempat kedudukannya pada saat  $t = 2$  sekon
  - waktu untuk mencapai tinggi maksimum
  - ketinggian maksimum yang dicapai peluru
  - kecepatan dan tempat kedudukan peluru di tempat terjauh

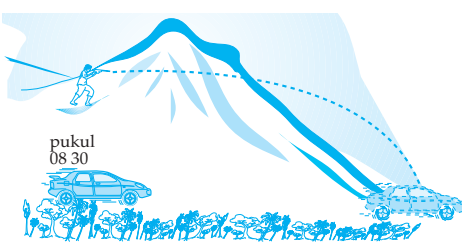
2.



Gambar di samping seorang pemain bola basket sedang melempar bola dengan sudut elevasi 37°. Jarak mendatar bola basket dengan keranjang bola = 3,2 m dan jarak vertikal bola basket dengan keranjang bola = 2,35 m. Agar bola dapat masuk keranjang bola berapakah kecepatan awal yang diperlukan? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- Sebuah peluru melesat dari moncong meriam dengan kecepatan 200 m/s dengan sudut elevasi  $\alpha$ . Target yang harus dicapai peluru dalam arah mendatar 4 km. Berapakah nilai  $\alpha$ ?

4.



Gambar di samping adalah sebuah truk yang sedang bergerak dengan kecepatan konstan 36 km/jam pada kaki bukit. Pada puncak bukit tersebut terdapat seorang penembak yang menembakkan sebuah peluru dengan arah mendatar dengan kecepatan awal 40 m/s, searah dengan gerak truk. Ketinggian penembak tersebut 30 m dari tanah. Truk tersebut tepat berada di bawah penembak pukul 08.30. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka pukul berapakah peluru harus ditembakkan agar mengenai truk?

# Rangkuman

- Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh benda selama benda bergerak.
- Perpindahan adalah perubahan posisi benda

$$\Delta \vec{s} = \vec{s}_2 - \vec{s}_1$$

- Vektor posisi adalah vektor yang menyatakan kedudukan sebuah benda terhadap acuan tertentu.
- Vektor satuan adalah vektor yang besarnya satu-satuan.

$$\vec{a} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

- Kecepatan rata-rata adalah perubahan posisi tiap satu satuan waktu.

$$\vec{v}_R = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

- Kecepatan sesaat:  $\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$
- Fungsi posisi:  $\vec{s} = \vec{s}_0 + \int \vec{v}.dt$
- Percepatan rata-rata adalah perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu.

$$\vec{a}_R = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

- Percepatan sesaat:  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$
- Fungsi kecepatan:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \int \vec{a}.dt$
- Koordinat polar titik yang melakukan gerak melingkar:  $r = (R, \theta)$
- Kecepatan sudut rata-rata adalah perubahan posisi sudut dalam selang waktu tertentu.

$$\vec{\omega}_R = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

- Kecepatan sudut sesaat:  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$
- Fungsi posisi sudut:  $\theta = \theta_0 + \int \omega . t$
- Percepatan sudut rata-rata adalah perubahan kecepatan sudut dalam selang waktu tertentu.

$$\alpha_R = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

- Percepatan sudut sesaat:  $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$
- Fungsi kecepatan sudut:  $\omega = \omega_o + \int \alpha \cdot dt$
- Gerak melingkar beraturan (GMB)

$$\theta = \omega \cdot t = \frac{v \cdot t}{R} = 2\pi f R t$$

$$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

$$F_s = m \cdot a_s = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R$$

- Gerak melingkar berubah beraturan (GMBB)

$$\omega_t = \omega_o + \alpha \cdot t$$

$$\theta = \omega_o t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega t^2 = \omega_o^2 + 2\alpha\theta$$

$$a_t = \alpha \cdot R$$

$$a = \sqrt{a_s^2 + a_t^2}$$

- Gerak parabola adalah gerak perpaduan antara gerak lurus beraturan pada sumbu x dan gerak lurus berubah beraturan pada sumbu y.

- Gerak pada sumbu x

$$V_x = v_o \cos \alpha$$

$$X_t = v_o \cdot \cos \alpha \cdot t$$

- Gerak pada sumbu y

$$V_y = v_o \sin \alpha - gt$$

$$Y_t = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2} gt^2$$

- Tempat kedudukan (TK)

$$TK = (X_t, Y_t)$$

- Kecepatan setiap saat (v)

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

e. Arah kecepatan setiap saat ( $\beta$ )

$$\text{Tg}\beta = \frac{v_y}{v_x}$$

f. Di tempat tertinggi

$$t_{\max} = \frac{v_o \sin \alpha}{g}$$

$$y_{\max} = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$x_t = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

g. Di tempat terjauh

$$t = \frac{2v_o \sin \alpha}{g}$$

$$x_{\max} = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g}$$

## KATA KUNCI

- Gerak linear
- Titik acuan
- Vektor posisi
- Vektor satuan
- Kecepatan
- Percepatan
- Gerak melingkar
- Radian
- Kelajuan
- Percepatan sentripetal
- Percepatan tangensial
- Gerak parabola
- Sudut elevasi





## KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

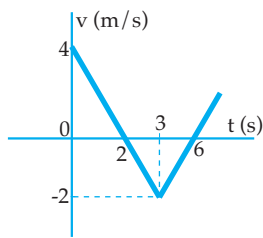
- Sebuah benda bergerak dengan fungsi kecepatan:  
 $v = (4t) \mathbf{i} + (10 + 0,75 t^2) \mathbf{j}$  (satuan dalam SI) maka besar percepatan benda pada saat  $t = 2$  sekon adalah ....  
a.  $4 \text{ m/s}^2$       d.  $5,5 \text{ m/s}^2$   
b.  $4,3 \text{ m/s}^2$       e.  $7 \text{ m/s}^2$   
c.  $5 \text{ m/s}^2$
- Sebuah partikel mula-mula bergerak sepanjang sumbu  $y$  menurut persamaan  $y = (100 + 100t - 5t^2) \text{ m}$  maka besar kecepatan pada saat  $t = 10$  sekon adalah ....  
a.  $600 \text{ m/s}$       d.  $25 \text{ m/s}$   
b.  $100 \text{ m/s}$       e.  $0 \text{ m/s}$   
c.  $50 \text{ m/s}$
- Sebuah titik berada di A (1, 4, 2) bergerak menuju B (4, 5, 7). Vektor posisi AB adalah ....  
a.  $3\mathbf{i} + \mathbf{j} + 5\mathbf{k}$       d.  $3\mathbf{i} - 2\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$   
b.  $3\mathbf{i} - \mathbf{j} - 5\mathbf{k}$       e.  $\mathbf{i} + \mathbf{j} + 5\mathbf{k}$   
c.  $3\mathbf{i} + 2\mathbf{j} - 5\mathbf{k}$
- Sebuah benda bergerak sepanjang sumbu  $x$  dengan kecepatan  
 $\vec{v} = (2t + 8) \mathbf{i} \text{ m.s.}$  Posisi awal benda itu adalah  $\vec{x}_0 = 10 \mathbf{i} \text{ m.}$  Posisi benda pada detik ke-5 adalah ....  
a.  $100\mathbf{i} \text{ m}$       d.  $45\mathbf{i} \text{ m}$   
b.  $80\mathbf{i} \text{ m}$       e.  $19\mathbf{i} \text{ m}$   
c.  $75\mathbf{i} \text{ m}$
- Benda yang bergerak dinyatakan dalam bentuk vektor satuan yaitu  $\mathbf{v} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j}$ , jika  $x = 2t^2 + 10t$  dan  $y = 20t + 5t^2$  besarnya kecepatan pada saat 4 detik adalah ....  
a.  $\sqrt{(16)^2 + (60)^2}$   
b.  $\sqrt{(72)^2 + (160)^2}$   
c.  $\sqrt{(16)^2 + (160)^2}$   
d.  $\sqrt{(72)^2 + (60)^2}$   
e.  $\sqrt{(26)^2 + (60)^2}$
- Sebuah benda bergerak sepanjang garis lurus dengan posisi  $x = 8t - 3t^2$ . Benda tersebut berhenti pada saat  $t$  sama dengan ... sekon.  
a. 0      d.  $\frac{8}{3}$   
b.  $\frac{3}{8}$       e.  $\frac{3}{4}$   
c.  $\frac{4}{3}$
- Sebuah roda berputar dengan posisi sudut  $\theta = -t^3 + 12t^2 + 3$  (satuan dalam SI). Percepatan sudut roda mencapai nilai nol setelah ....  
a. 2 sekon  
b. 4 sekon  
c. 1 sekon  
d. 0,5 sekon  
e. 2,5 sekon

8. Sebuah roda mula-mula berputar dengan kecepatan sudut  $20 \text{ rad/s}$ , kemudian mengalami perlambatan secara beraturan dan roda berhenti setelah 4 sekon. Jumlah putaran roda mulai mengalami perlambatan sampai berhenti sebanyak ... putaran.
  - a. 5
  - b.  $2,37$
  - c. 4
  - d.  $6,37$
  - e. 10
9. Sebuah piringan berputar dengan kecepatan sudut konstan dan menempuh  $6,28$  radian tiap 2 sekon. Waktu yang diperlukan untuk menempuh 10 putaran adalah ... sekon.
  - a. 2
  - b. 4
  - c. 6
  - d. 10
  - e. 20
10. Sebuah titik partikel yang mula-mula diam, kemudian melakukan gerak melingkar dengan jari-jari 2 meter dan dengan persamaan percepatan sudut  $\alpha = (12t^2 - 18t - 20) \text{ rad/s}^2$  maka percepatan sentripetal partikel saat  $t = 1$  sekon adalah ...  $\text{m/s}^2$ .
  - a. 50
  - b. -2
  - c. 27
  - d. 317,5
  - e. 47,15
11. Sebuah titik partikel melakukan gerak rotasi dengan kecepatan sudut tetap sebesar  $2 \text{ rad/s}$ , dengan jari-jari lintasan 20 cm. Kelajuan linier partikel tersebut sebesar ....
  - a.  $40 \text{ m/s}$
  - b.  $4 \text{ m/s}$
  - c.  $0,4 \text{ m/s}$
  - d.  $10 \text{ m/s}$
  - e.  $1 \text{ m/s}$
12. Seorang sniper menembak musuh yang berada di atas gedung pada ketinggian 160 m dari tanah, dan jarak mendatarnya 320 m. Jika sudut elevasi  $45^\circ$ , maka kecepatan awal yang harus diberikan agar mengenai musuh adalah ....
  - a.  $80 \text{ m/s}$
  - b.  $40 \text{ m/s}$
  - c.  $60 \text{ m/s}$
  - d.  $160 \text{ m/s}$
  - e.  $100 \text{ m/s}$
13. Sebuah benda dijatuhkan dari pesawat terbang yang sedang melaju horisontal dengan kelajuan  $720 \text{ km/jam}$  pada ketinggian 490 meter, benda itu akan jatuh pada jarak horizontal sejauh ... meter  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .
  - a. 1.000
  - b. 2.000
  - c. 2.450
  - d. 2.900
  - e. 4.000
14. Pada tendangan bebas suatu permainan sepak bola, bola ditendang melayang di udara selama 4 sekon, jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka bola mencapai tempat tertinggi pada posisi ....
  - a. 12 m
  - b. 16 m
  - c. 20 m
  - d. 30 m
  - e. 48 m
15. Sebutir peluru ditembakkan dengan sudut elevasi  $30^\circ$ , di saat tertentu peluru tersebut berada pada koordinat  $(720\sqrt{3}; 0)$ . Jika  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ , maka kecepatan awal peluru adalah ....
  - a.  $80 \text{ ms}^{-1}$
  - b.  $70 \text{ ms}^{-1}$
  - c.  $60 \text{ ms}^{-1}$
  - d.  $50 \text{ ms}^{-1}$
  - e.  $120 \text{ ms}^{-1}$

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

1. Sebuah partikel melakukan gerak lurus berubah beraturan dengan posisi mula-mula dari titik acuan 5 m dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$ . Kecepatan partikel pada  $t = 2$  sekon adalah  $12 \text{ m/s}$ . Hitunglah kecepatan rata-rata partikel dalam waktu 10 sekon pertama!

2.

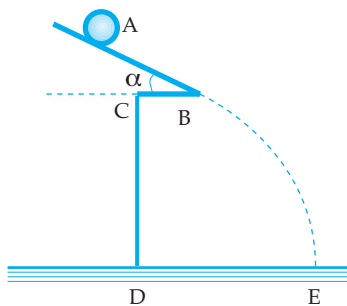


Sebuah partikel bergerak pada sumbu  $x$ , dengan grafik hubungan kecepatan terhadap waktu seperti pada gambar di samping, jika pada saat  $t = 1$  sekon partikel berada pada  $x = 2$  meter. Tentukan posisi partikel pada saat  $t = 6$  sekon!

3. Sebuah piringan hitam dengan jari-jari 30 cm berputar beraturan dan dalam waktu 2 sekon mampu berputar 50 putaran. Titik P berada pada pinggir piringan hitam. Tentukan:

- panjang lintasan yang ditempuh titik P selama 0,02 sekon
- posisi titik P pada saat  $t = 0,01$  sekon

4.



Gambar di samping adalah sebuah bola dilepaskan dari titik A pada atas seng. Ternyata bola jatuh di tanah pada titik E. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan  $\sin \alpha = 0,6$ , maka hitunglah:

- jarak DE
- kecepatan bola saat sampai di tanah (di titik E) keterangan:  $AB = 12 \text{ m}$ ;  $BC = 1 \text{ m}$ ;  $CD = 12,2 \text{ m}$

5. Seseorang hendak menembak seekor burung yang terletak pada jarak 100 m dari orang tersebut dan pada ketinggian 90 meter. Jika kecepatan awal peluru saat ditembakkan  $= 100 \text{ m/s}$ , berapakah sudut elevasi penembakan peluru agar burung dapat tertembak?

# 2

## HUKUM NEWTON TENTANG GERAK DAN GRAVITASI

Setelah mempelajari materi "Hukum Newton tentang Gerak dan Gravitasi" diharapkan Anda dapat memahami hubungan antara gaya gravitasi dengan massa benda dan jaraknya, menghitung resultan gaya gravitasi pada suatu titik di antara beberapa benda, membandingkan percepatan gravitasi dan kuat medan gravitasi, serta menganalisis gerak planet dalam tatasurya berdasarkan hukum Kepler.

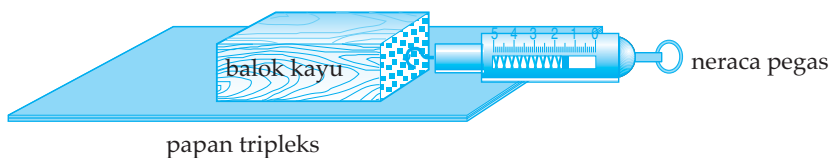


## A. GAYA GESEKAN

Jika kita melempar sebuah benda pada permukaan tanah, ternyata benda yang semula bergerak akhirnya berhenti. Perubahan gerak benda tersebut disebabkan adanya gaya dengan arah berlawanan dan arah gerak benda. Gaya bekerja pada bidang singgung antara permukaan benda dan permukaan tanah. Gaya dinamakan gaya gesekan atau *friksi* yang diberi lambang dengan " $f$ ". Gaya gesekan timbul karena tidak licinnya permukaan bidang singgung antara dua permukaan benda lain. Karena tidak adanya permukaan benda yang licin sempurna walaupun tampak rata, maka menyebabkan satu permukaan benda sukar meluncur di atas permukaan benda lain. Gesekan bertambah dengan makin besarnya tekanan di kedua permukaan itu. Berarti semakin berat bendanya semakin sulit benda itu meluncur pada permukaan.

Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi gaya gesekan, lakukan percobaan di bawah ini.

**Percobaan:** Gaya gesekan pada bidang datar



Tentukan berat balok kayu besar dan balok kayu kecil dengan neraca pegas. Rakitlah balok kayu besar, neraca pegas dan papan tripleks seperti gambar di atas. Tariklah neraca pegas pada arah mendatar perlahan-lahan sambil amati keadaan balok kayu besar. Berapakah angka yang ditunjukkan pada neraca pegas? Isikan hasilnya pada tabel.

Gantilah balok kayu besar dengan balok kayu kecil dan ulangi kegiatan di atas. Ulangi kegiatan pada paragraf pertama, namun letakkan plastik halus di atas papan tripleks. Isikan hasilnya pada tabel. Adapun kolom yang dibuat pada tabel adalah: Jenis balok, Berat (N), Bidang singgung (tripleks, plastik), Angka pada neraca pegas (N).

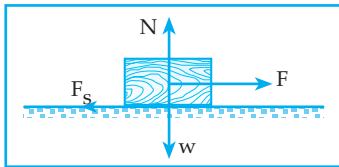
Dari hasil pengamatan yang Anda dapatkan, sebutkan 2 faktor yang mempengaruhi besarnya gaya gesekan antara dua permukaan bidang singgung!

### Informasi

Angka yang ditunjukkan oleh neraca pegas menyatakan besar gaya gesekan statis maksimum

## 1. Koefisien Gesekan

Dari hasil percobaan di atas ternyata pada saat balok kayu yang terletak pada papan tripleks atau papan tripleks yang dilapisi plastik ditarik balok kayu tidak langsung bergerak. Hal tersebut berarti selama balok kayu ditarik dengan suatu gaya pada bidang singgung balok kayu timbul gaya gesekan yang disebut gaya gesekan statis yang diberi lambang " $f_s$ " seperti tampak pada gambar 2.1.



Besar gaya gesekan sebanding dengan besar tekanan di antara kedua permukaan benda.

Gambar 2.1 Gaya gerak

Gaya gesekan statis dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$f_s = \mu_s \cdot N$$

$f_s$  = gaya gesekan statis       $N$  = gaya normal  
 $\mu_s$  = koefisien gesekan statis       $N = W$  (berat benda)

Selama benda belum bergerak pada saat benda ditarik oleh gaya  $F$  tersebut di atas maka besar gaya gesekan terus bertambah dan gaya gesekan statis mencapai nilai maksimum pada saat benda tepat akan bergerak. Gaya gesekan pada saat benda tepat akan bergerak disebut gaya gesekan statis maksimum yang diberi lambang " $f_{s(\max)}$ " yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$f_{s(\max)} = \mu_s \cdot N$$

Bagaimanakah jika benda dalam keadaan bergerak apakah juga terdapat gaya gesekan?

Contoh benda yang dilempar pada suatu bidang ternyata benda yang semula bergerak akhirnya berhenti. Hal tersebut berarti selama benda bergerak juga timbul gaya gesekan dan gaya gesekan yang timbul dinamakan gaya gesekan kinetis yang diberi lambang " $f_k$ " dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

$f_k$  = gaya gesekan kinetis (dinamis)

$\mu_k$  = koefisien gesekan kinetis (dinamis)

$N$  = gaya normal

Uraian di atas diperoleh pengertian bahwa koefisien gesekan kinetis adalah koefisien gesekan yang timbul selama benda bergerak. Nilai  $\mu_s > \mu_k$

Diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut dengan kelompok Anda!

Dari kejadian pada gambar 2.1 di atas maka jika

1. nilai  $F < f_{s(\max)}$  keadaan benda ....
2. nilai  $F = f_{s(\max)}$  keadaan benda ....

3. nilai  $F > f_{s(max)}$  keadaan benda ....
4. selama benda bergerak berlaku hukum II newton yang dapat dinyatakan dengan persamaan ....

### Contoh Soal 2.1

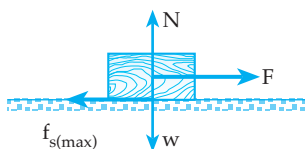
Sebuah benda dengan massa 5 kg terletak di atas permukaan tanah yang datar. Benda ditarik dengan gaya 40 N dengan arah mendatar dan ternyata tepat akan bergerak. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapakah koefisien gesek statis antara bidang singgung benda dengan tanah?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 5 \text{ kg}$  ;  $F = 40 \text{ N}$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya:  $\mu_s$ ?

Jawab:



$$N = W = m \cdot g = 50 \text{ N}$$

Benda tepat akan bergeser:

$$F = f_{s(max)}$$

$$F = \mu_s \cdot N$$

$$40 = \mu_s \cdot 50$$

$$\mu_s = 0,8$$

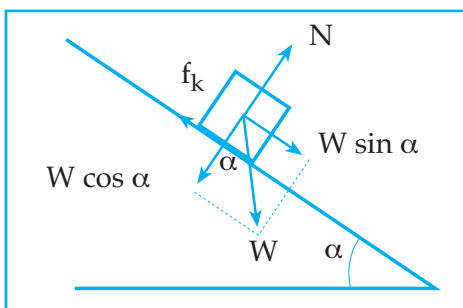
## 2. Beberapa Penerapan Gaya Gesekan Dalam Kehidupan Sehari-hari

### a. Benda pada bidang miring

Jika kita meletakkan benda pada bidang miring ada kemungkinan benda tersebut tetap dalam keadaan diam, yang berarti pada saat itu timbul gaya gesekan pada bidang singgung antara benda dan bidang miring.

Gaya apa sajakah yang timbul pada sistem tersebut?

Untuk itu perhatikan uraian di bawah.



Gambar 2.2 Benda pada bidang miring

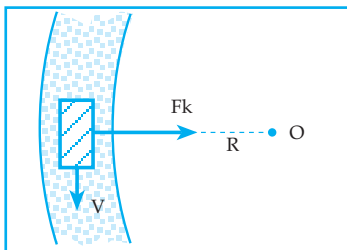
Gambar 2.2 sebuah benda dengan berat  $W$  terletak pada bidang miring dengan sudut kemiringan  $\alpha$ . Jika gaya berat  $W$  diuraikan menjadi dua komponen didapat  $W \sin \alpha$  dan  $W \cos \alpha$ . Jika benda diam atau bergerak searah pada bidang miring, maka  $N = W \cos \alpha$ . Dari kemungkinan keadaan benda tersebut, jika:

- benda diam maka  $W \sin \alpha < f_{s(\max)}$
- benda tepat akan bergerak maka  $W \sin \alpha = f_{s(\max)}$  dan  $f_{s(\max)} = \mu_s \cdot N$
- benda bergerak maka  $W \sin \alpha > f_k$  dan berlaku hukum II Newton:

$$W \sin \alpha - f_k = m \cdot a$$

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

## b. Jalan datar melingkar



Gambar 2.3  
Kendaraan melaju pada tikungan

Gambar 2.3 di samping melukiskan sebuah kendaraan yang sedang bergerak pada tikungan jalan datar kasar dengan koefisien gesek =  $\mu$ . Agar kendaraan tidak slip, maka kecepatan maksimum yang diperbolehkan pada kendaraan tersebut dapat dihitung sebagai berikut.

$$f_s = \frac{mv^2}{R}$$

$$f_k = \frac{mv^2}{R}$$

$$\mu \cdot m \cdot g = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R}$$

Keterangan:

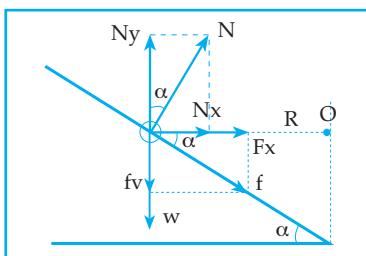
$v$  = Kecepatan maksimum

$\mu$  = Koefisien gesekan bidang singgung.

$g$  = percepatan gravitasi

$R$  = jari - jari lintasan kendaraan

## c. Jalan menikung miring kasar



Gambar 2.4  
Jalan menikung miring kasar

Gambar 2.4 di samping sebuah kendaraan yang bergerak pada jalan menikung miring kasar dengan koefisien gesek =  $\mu$ . Kecepatan maksimum yang diperbolehkan untuk kendaraan tersebut agar tidak selip dapat dihitung sebagai berikut.



$$\begin{aligned}
N_x &= N \sin \alpha; N_y = N \cos \alpha \\
f_x &= f \cos \alpha; f_y = f \sin \alpha \\
f_s &= N_x + f_x \\
\frac{mv^2}{R} &= N \sin \alpha + f \cos \alpha \\
\frac{mv^2}{R} &= N \sin \alpha + (\mu \cdot N) \cos \alpha \\
\frac{mv^2}{R} &= N(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots (1) \\
\Sigma F_y &= 0 \\
N_y &= f_y + w \\
N \cos \alpha &= f \sin \alpha + m \cdot g \\
m \cdot g &= N \cos \alpha - \mu \cdot N \sin \alpha \\
m \cdot g &= N(\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha) \dots\dots\dots (2)
\end{aligned}$$

Jika persamaan (1) dibagi persamaan (2) diperoleh:

$$v = \sqrt{R \cdot g \left( \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \cdot \tan \alpha} \right)}$$

$v$  = kecepatan maksimum yang diperbolehkan

$R$  = jari-jari lintasan kendaraan

$g$  = percepatan gravitasi

$\mu$  = koefisien gesekan

$\alpha$  = sudut kemiringan jalan terhadap bidang datar

**Contoh Soal 2.2**

1. Sebuah benda dengan massa 2 kg dilempar pada bidang datar dengan kecepatan awal = 10 m/s. Jika benda berhenti setelah menempuh jarak 12,5 m dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka tentukan:
  - a. besar gaya gesekan kinetis yang timbul pada bidang singgung permukaan benda dan bidang datar
  - b. koefisien gesekan kinetis.

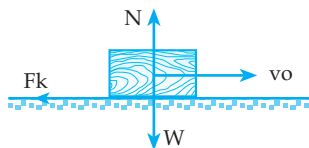
*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ kg}$ ;  $v_o = 10 \text{ m/s}$ ;  $v_t = 0$

$S = 12,5 \text{ m}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya: a.  $f_k$   
b.  $\mu_k$

Jawab:



$$N = W = mg$$

$$N = 20 \text{ Newton}$$

a.  $v_t^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot s$

$$0 = 100 + 25 \cdot a$$

$$-25a = 100$$

$$a = -4 \text{ m/s}$$

Selama benda bergerak, gaya yang bekerja adalah gaya gesekan kinetik dan selama itu berlaku hukum II Newton.

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$-f_k = m \cdot a$$

$$-f_k = -4,2$$

$$f_k = 8 \text{ N}$$

b.  $f_k = \mu_k \cdot N$

$$8 = \mu_k \cdot 20$$

$$\mu_k = 0,4$$

2. Sebuah benda dengan massa 10 kg diletakkan pada bidang miring dengan sudut kemiringan sebesar  $\alpha \left( \tan \alpha = \frac{3}{4} \right)$ .

Jika  $\mu_k = 0,2$  ;  $\mu_s = 0,4$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka:

a. bagaimana keadaan benda

b. berapakah jarak yang ditempuh benda selama 2 sekon?

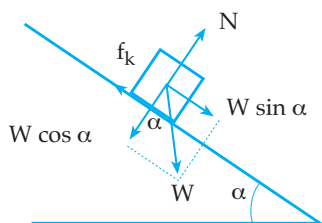
*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 10 \text{ kg}$  ;  $\tan \alpha = \frac{3}{4}$  ;  $V_o = 0$  ;  $\mu_k = 0,2$  ;  $\mu_s = 0,4$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya: a. keadaan benda? b. s untuk  $t = 2 \text{ sekon}$ ?

Jawab:

a.



$$\tan \alpha = \frac{3}{4}$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{5}$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$N = W \cos \alpha = 80 \text{ N}$$

$$f_{s(\max)} = \mu_s \cdot N = 0,4 \cdot 80 = 32 \text{ N}$$

$$W \sin \alpha = 100 \cdot \frac{3}{5} = 60 \text{ N}$$

Karena  $W \sin \alpha > f_{s(\max)}$  maka keadaan benda bergerak

b. Selama benda bergerak berlaku hukum II Newton

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$W \sin \alpha - f_k = m \cdot a$$

$$W \sin \alpha - \mu_k \cdot N = m \cdot a$$

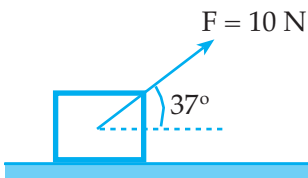
$$60 - 16 = 10 \cdot a$$

$$a = 4,4 \text{ m/s}^2$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$S = 0 + \frac{1}{2} \cdot 4,4 \cdot 4 = 8,8 \text{ m}$$

3.



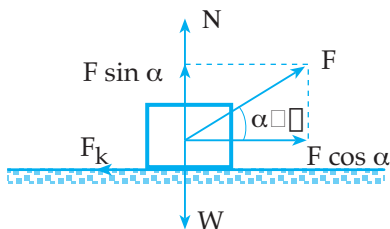
Gambar di samping melukiskan sebuah benda dengan massa 1 kg terletak pada bidang datar. Pada benda bekerja gaya  $F = 10 \text{ N}$  dengan arah condong  $37^\circ$  terhadap bidang datar. Jika  $\mu_k = 0,3$ , hitunglah percepatan yang timbul pada benda selama bergerak!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 1 \text{ kg}$  ;  $F = 10 \text{ N}$  ;  $\alpha = 37^\circ$  ;  $\mu_k = 0,3$

Ditanya:  $a$

Jawab:



$$\sin 37^\circ = 0,6$$

$$\cos 37^\circ = 0,8$$

$$F \cos \alpha = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

$$F \sin \alpha = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

$$W = m \cdot g = 1 \cdot 10 = 10 \text{ N}$$

$$N = W - F \sin \alpha = 4 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k \cdot N = 0,34 = 1,2 \text{ N}$$

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F \cos \alpha - f_k = m \cdot a$$

$$8 - 1,2 = 1 \cdot a$$

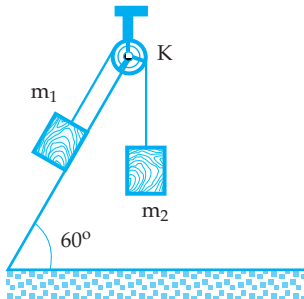
$$a = 6,8 \text{ m/s}^2$$

## Uji Pemahaman 2.1

### Kerjakan soal berikut!

1. Mengapa tidak ada bidang yang licin sempurna?
2. Sebuah benda dengan massa 2 kg dilempar pada bidang datar dengan  $\mu_s = 0,35$  dan  $\mu_k = 0,25$  dengan kecepatan awal  $= V_0$ . Ternyata benda berhenti setelah menempuh jarak 20 meter. Berapakah nilai  $V_0$ ?

3.



Dari gambar di samping diketahui  $m_1 = 0,5$  kg;  $m_2 = 0,2$  kg; koefisien gesekan antara bidang singgung benda I dan bidang miring:  $\mu_s = 0,8$  dan  $\mu_k = 0,6$ , serta  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

- a. Bagaimana keadaan benda I dan benda II?
  - b. Berapakah percepatan benda I dan benda II?
  - c. Berapakah besar gaya tegang tali penghubung benda I dan benda II?
4. Sebuah mobil sedang melaju pada tikungan miring dengan sudut kemiringan  $37^\circ$ . Berapakah jari-jari lintasan mobil agar dengan kecepatan 36 km/jam mobil tidak slip, bidang miring licin dan bidang miring kasar dengan koefisien gesekan  $= 0,8$ ?

## B. HUKUM NEWTON PADA GERAK PLANET

Matahari, bulan, bintang atau benda-benda langit yang lain jika dilihat dari bumi tampak bergerak dari arah timur ke barat. Apakah demikian yang terjadi sebenarnya? Tentu Anda masih ingat dengan gerak relatif sebuah benda.

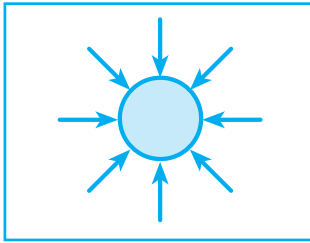
Bumi kita selain berotasi pada sumbu bumi, juga berevolusi mengelilingi matahari. Bumi berotasi dari arah barat ke timur, jika dilihat dari kutub utara bumi, maka mengakibatkan gerak relatif matahari, bulan, bintang atau benda-benda langit yang lain tampak bergerak dari arah timur ke barat. Jika kita melepas benda di dekat permukaan bumi, maka benda tersebut akan jatuh ke permukaan bumi. Apabila melepas benda itu di dekat permukaan bulan, maka benda tersebut akan jatuh ke permukaan bulan.

### 1. Medan Gravitasi

Pada hakikatnya setiap partikel bermassa selain mempunyai sifat lembam juga mempunyai sifat menarik partikel bermassa yang lain. Gaya tarik antara partikel-partikel bermassa tersebut disebut dengan gaya gravitasi.

Kerapatan atmosfer bumi semakin jauh dari pusat bumi semakin renggang, bahkan partikel-partikel yang berada di luar atmosfer bumi (di ruang hampa udara) sudah tidak mendapat gaya tarik oleh bumi. Dikatakan saat itu benda berada di luar medan gravitasi bumi.

Setiap partikel bermassa mempunyai medan gravitasi tertentu. Dengan demikian medan gravitasi didefinisikan sebagai daerah yang masih mendapat pengaruh gaya gravitasi suatu benda.



Gambar 2.5 Medan gravitasi

Medan gravitasi suatu benda dapat digambarkan sebagai garis berarah yang menuju pusat benda, seperti terlihat pada gambar 2.5 di samping.

### Kegiatan 2.1

Diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut bersama kelompok Anda!

1. Berdasarkan data, 80% massa atmosfer bumi berada pada lapisan bawah dari lapisan atmosfer tersebut (pada lapisan troposfer). Mengapa demikian? Jelaskan!
2. Apakah yang dimaksud ruang tanpa bobot?
3. Jika kita memindahkan sebuah benda dari suatu daerah ke daerah lain, bagaimana dengan massa benda dan berat benda tersebut?
4. Apakah maksud dari medan gravitasi suatu benda yang digambarkan dengan garis berarah dengan arah menuju ke titik pusat benda tersebut?

## 2. Gerak-gerak Benda Antariksa

Banyak fenomena alam yang dicerna oleh pikiran manusia berdasarkan akal sehat dari apa yang kelihatan (*commonsense*).

Seperti gerak benda-benda angkasa di sekitar bumi tampak beredar mengelilingi bumi, sehingga bumi tampak sebagai pusat peredaran benda-benda angkasa tersebut. Pendapat tersebut seperti yang dikemukakan oleh **Aristoteles**, seorang pemikir dari Yunani yang menyatakan *teori geosentris*, yaitu bumi sebagai pusat peredaran benda-benda angkasa.

Perkembangan alam pemikiran manusia dan bantuan alat-alat, seperti teropong bintang ternyata pendapat Geosentris yang telah dikemukakan oleh Aristoteles adalah keliru. Namun demikian pendapat Geosentris ini sempat dipercaya sampai abad ke-16.

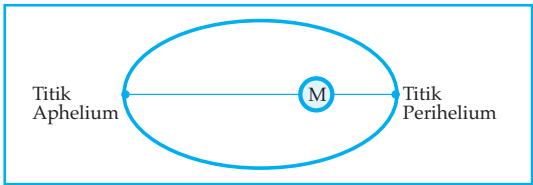
**Nikolaus Copernicus**, orang yang pertama kali mengemukakan pendapat bahwa matahari sebagai pusat peredaran benda-benda angkasa. Pendapat tersebut dikenal dengan *Heliosentris*. Copernicus pada saat itu tidak berani menyatakan pendapatnya secara terbuka karena takut dengan golongan Rohaniawan yang berkuasa saat itu.

Seperti yang dialami oleh Bruno, salah seorang pengikut Copernicus yang telah berani menyatakan pendapat Heliosentris secara terbuka akhirnya ditangkap dan dibakar sampai mati.

**Johannes Keppler** dan **Galileo** adalah ilmuwan yang membenarkan pendapat Heliosentris. Johannes Keppler menyatakan 3 hukum peredaran benda-benda angkasa sebagai penyempurna dari pendapat Heliosentris yang dikemukakan oleh Nicolaus Copernicus.

**a. Hukum I Keppler**

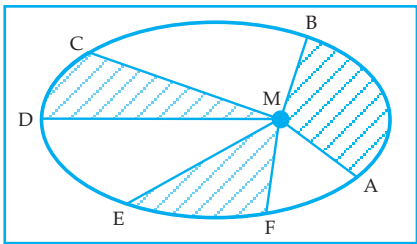
Menurut hukum I Keppler “lintasan planet selama bergerak mengelilingi matahari berbentuk elips dan matahari berada pada salah satu titik fokusnya”.



Gambar. 2.6 Lintasan Planet Mengelilingi Matahari

**b. Hukum II Keppler**

Menurut hukum II Keppler “selama planet bergerak mengelilingi matahari, garis hubung antara planet dan matahari dalam waktu yang sama, menyapu luasan daerah yang sama pula”.



Gambar. 2.7 Luas daerah lintasan planet

Jika waktu yang dibutuhkan planet untuk bergerak dari A ke B = C ke D = E ke F, maka luas AMB = Luas CMD = luas EMF

**c. Hukum III Keppler**

Menurut hukum III Keppler “selama planet bergerak mengelilingi matahari “perbandingan dari kuadrat periode planet dan pangkat tiga dari jarak rata-rata planet ke matahari merupakan bilangan konstan”.

Pernyataan hukum III Keppler dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{T^2}{r^3} = K$$

- T = periode planet mengelilingi matahari
- r = jarak rata-rata planet ke matahari
- K = bilangan konstan yang nilainya tidak bergantung pada jenis planet

Persamaan hukum III Kepler di atas dapat juga dinyatakan

$$\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3}$$

$T_1$  = periode planet I

$T_2$  = periode planet II

$r_1$  = jarak rata-rata planet I ke matahari

$r_2$  = jarak rata-rata planet II ke matahari

### Contoh Soal 2.3

Dalam tata surya didapat data jarak rata-rata bumi ke matahari = 1 astronomi dan kala revolusi bumi = 365 hari. Jika jarak rata-rata venus ke matahari 0,72 astronomi, berapakah kala revolusi venus?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $T_1 = 365$  hari ;  $R_1 = 1$  As ;  $R_2 = 0,72$  As

Ditanya:  $T_2$

Jawab:

$$\begin{array}{l} \frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^2} \\ \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^3 \\ \left( \frac{365}{T_2} \right)^2 = \left( \frac{1}{0,72} \right)^3 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \frac{365}{T_2} = 1,64 \\ T_2 = 222,56 \text{ hari} \end{array} \right.$$

### Kegiatan 2.2

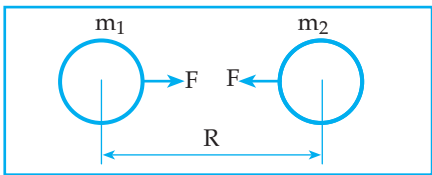
Diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut bersama kelompok Anda!

1. Jika  $M$  = massa bumi,  $r$  = jarak titik ke pusat bumi, maka dengan menggunakan konsep gaya gravitasi bumi terhadap benda yang merupakan gaya berat benda tersebut, buktikan percepatan gravitasi pada titik yang berjarak  $r$  dari pusat bumi dinyatakan dengan  $g = G \frac{M}{r^2}$
2. Besar manakah nilai percepatan gravitasi bumi di daerah khatulistiwa dan di daerah kutub? Berilah penjelasan!
3. Jika kita memindahkan sebuah benda dari daerah kutub ke daerah katulistiwa, bagaimanakah dengan massa dan berat benda tersebut?

3. Gravitasi Semesta

Pada tahun 1666, **Newton** melihat sebutir buah apel jatuh dari pohonnya ke tanah. Peristiwa tersebut timbul pemikiran dari Newton bahwa kekuatan gravitasi yang menarik buah apel ke tanah.

Bertolak dari penemuan para ahli sebelumnya antara lain penemuan **Keppler** dan **Isaac Newton** dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya “antara benda satu dengan benda yang lain, antara planet dengan planet atau antara matahari dengan planet terjadi gaya tarik-menarik yang disebut dengan gaya gravitasi atau disebut juga gaya gravitasi semesta”. Untuk itu perhatikan uraian berikut!



Gambar. 2.8 Gaya Gravitasi

Gambar. 2.8 di atas melukiskan dua benda yang bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  mempunyai jarak antara pusat massanya =  $R$ . Kedua benda saling tarik-menarik dengan gaya gravitasi ( $F$ ) yang besarnya berbanding lurus dengan massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat massanya.

Gaya gravitasi antara dua benda dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

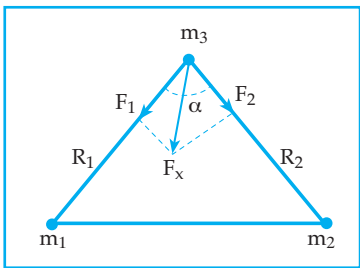
$F$  = gaya gravitasi (N)

$m$  = massa benda (kg)

$R$  = jarak antara pusat massa kedua benda (m)

$G$  = konstanta gravitasi umum.

Gaya gravitasi merupakan besaran vektor.



Dari gambar 2.9, maka gaya gravitasi yang dialami oleh benda ke-3 ( $m_3$ ) adalah:

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

$$F_1 = G \frac{m_1 \cdot m_3}{R_1^2}$$

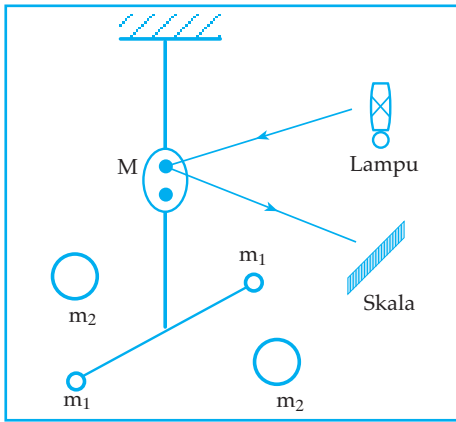
$$F_2 = G \frac{m_2 \cdot m_3}{R_2^2}$$

Gambar 2.9 Gaya gravitasi antara dua benda

a. Penentuan nilai konstanta gravitasi umum (G)

Pada persamaan gaya gravitasi di atas, nilai  $G$  tidak dapat ditentukan saat itu. Baru seabad kemudian nilai  $G$  dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut dengan neraca torsi atau neraca puntir yang ditemukan oleh **Rev John Michell** dan pertama kali dipakai **Sir Henry Cavendish** pada tahun 1798 yang kemudian dikenal dengan neraca Cavendish.





Gambar 2.10 Neraca Cavendish

Neraca Cavendish terdiri atas batang ringan berbentuk huruf T yang diikat dengan benang halus. Dua buah bola kecil yang masing-masing bermassa  $m_1$  diletakkan pada ujung-ujung batang yang mendatar dan sebuah cermin M, diletakkan pada batang yang tegak, memantulkan seberkas cahaya pada skala (lihat gambar 2.10).

Untuk menggunakan alat tersebut, maka dua buah bola besar masing-masing bermassa  $m_2$  diletakkan pada kedudukan seperti pada gambar. Dengan memperhatikan sudut simpangan yang ditunjukkan dengan simpangan berkas cahaya yang dipantulkan oleh cermin pada skala, maka dihitung nilai dari  $G$ . Ternyata  $G = 6,673 \times 10^{-11}$  Newton  $\cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .

#### b. Kuat medan gravitasi

Setiap benda mempunyai medan gravitasi tertentu. Setiap benda yang berada dalam medan gravitasi benda lain akan mendapat gaya gravitasi.

Perhatikan gambar 2.11 di bawah



Gambar 2.11

Kuat Medan Gravitasi

Gb. 2.11 (a) : benda dengan massa  $m'$  berada dalam medan gravitasi benda bermassa  $m$ , sehingga benda  $m'$  mendapat gaya gravitasi sebesar  $F$ .

Gb. 2.11 (b) : Jika benda  $m'$  diambil dan letak  $m'$  diberi nama titik P, maka setiap benda yang diletakkan pada titik P akan mendapat gaya gravitasi dari benda  $m$ .

Besar gaya gravitasi yang dialami setiap benda di titik P tiap satuan massa disebut kuat medan gravitasi yang diberi lambang " $g$ ". Sehingga kuat medan gravitasi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$g = \frac{F}{m'}$$

$g$  = kuat medan gravitasi (N/Kg)

$m'$  = massa uji (kg)

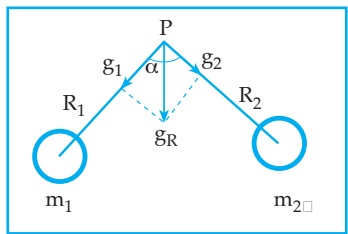
Dari persamaan  $g = \frac{F}{m'}$  dan  $F = G \frac{m \cdot m'}{R^2}$  dapat diperoleh:

$$g = G \frac{m}{R^2}$$

- $g$  = kuat medan gravitasi (N/kg)
- $G$  = konstanta gravitasi =  $6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
- $m$  = massa benda (kg)
- $R$  = jarak titik ke pusat benda

Catatan: Kuat medan gravitasi merupakan besaran vektor

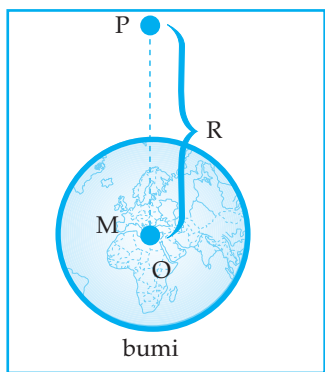
Kuat medan gravitasi Resultan di titik P adalah:



$$g_R = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + 2g_1g_2 \cos \alpha}$$
$$g_1 = G \frac{m_1}{R_1^2} \qquad g_2 = G \frac{m_2}{R_2^2}$$

Gambar 2.12 Kuat medan gravitasi antara dua benda

4. Percepatan Gravitasi Bumi



Gambar 2.13  
Keterangan: O titik pusat bumi

Setiap titik dalam medan gravitasi bumi mempunyai percepatan gravitasi yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

- $g$  = percepatan gravitasi bumi
- $G$  = konstanta gravitasi umum
- $M$  = massa bumi
- $R$  = jarak titik ke pusat bumi

Contoh Soal 2.4

1. Tiga buah partikel yang masing-masing bermassa 1 kg berada pada titik-titik sudut sebuah segitiga sama sisi yang panjang sisi-sisinya = 1 m. Berapakah besar gaya gravitasi yang dialami masing-masing titik partikel (dalam G)?

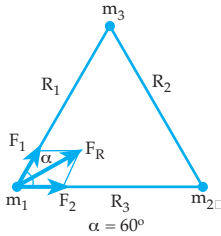
*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_1 = m_2 = m_3 = 1 \text{ kg}$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ m}$$

Ditanya:  $F_R$

Jawab:



Besar gaya gravitasi Resultan yang dialami oleh masing-masing benda sama besar

$$F_1 = F_2 = F$$

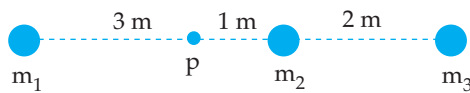
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_3}{R_1^2} = G \text{ Newton}$$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

$$F_R = \sqrt{G^2 + G^2 + G^2}$$

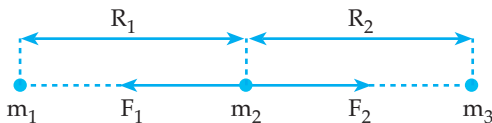
$$F_R = G\sqrt{3} \text{ N}$$

2.



Gambar di samping melukiskan tiga buah benda  $m_1 = 6 \text{ kg}$ ;  $m_2 = 3 \text{ kg}$  dan  $m_3 = 4 \text{ kg}$  terletak pada satu garis lurus. Tentukan besar dan arah gaya gravitasi Resultan yang dialami oleh  $m_2$ ! (nyatakan dalam G)

*Penyelesaian*



$$F_1 = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R_1^2} = G \frac{6 \cdot 3}{9} = 2G$$

$$F_2 = G \frac{m_2 \cdot m_3}{R_2^2} = G \frac{3 \cdot 4}{4} = 3G$$

$$F_R = F_2 - F_1 = 3G - 2G = G \text{ Newton}$$

arah  $F_R$  ke kanan

3. Berat benda di permukaan bumi = 40 N. Tentukan berat benda tersebut jika dibawa pada ketinggian 0,25 R dari permukaan bumi (R = jari-jari bumi)!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $W_1 = 40 \text{ N}$ ;  $R_1 = 6 \text{ m}$ ;  $R_2 = 1,25 R$

Ditanya:  $W_2$

Jawab:

$$W \sim g \text{ dan } g \sim \frac{1}{R^2} \text{ maka } W \sim \frac{1}{R^2}$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2 \rightarrow \frac{40}{W_2} = \left( \frac{1,25R}{R} \right)^2$$

$$\frac{40}{W_2} = 1,5625 \rightarrow W_2 = 25,6 \text{ N}$$

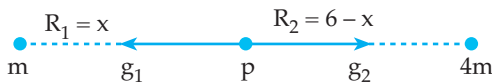
4. Dua buah titik partikel yang masing-masing bermassa  $m$  dan  $4m$  terpisah pada jarak  $6m$  satu dengan yang lain. Tentukan letak titik  $P$  dari titik partikel yang bermassa  $m$  agar kuat medan gravitasi di titik  $P = \text{nol!}$

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_1 = m$ ;  $R = 6m$ ;  $m_2 = 4m$ ;  $g_P = 0$

Ditanya:  $R_1$

Jawab:



$$g_P = 0$$

$$g_1 - g_2 = 0$$

$$g_1 = g_2$$

$$G \frac{m_1}{R_1} = G \frac{m_2}{R_2}$$

$$\frac{m}{x^2} = \frac{4m}{(6-x)^2}$$

$$4x^2 = (6-x)^2$$

$$2x = 6 - x$$

$$3x = 6$$

$$x = 2m$$

Jadi, letak titik  $P$  terhadap titik partikel bermassa  $m$  adalah  $2m$ .

5. Sebuah planet mempunyai massa 4 kali massa bumi dan jari-jari 3 kali jari-jari bumi. Ayunan sederhana di bumi mempunyai periode 2 sekon. Berapakah periode dari ayunan sederhana tersebut jika dibawa di planet tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_P = 4m_B$ ;

$T_B = 2 \text{ sekon}$ ;

$R_P = 3R_B$

Ditanya:  $T_P$

Jawab:

$$\frac{g_B}{g_P} = \frac{m_B}{R_B^2} \times \frac{R_P}{m_P^2}$$

$$\frac{g_B}{g_P} = \frac{m_B}{R_B^2} \times \frac{9R_B^2}{4m_B}$$

$$\frac{g_B}{g_P} = \frac{9}{4}$$

$$\frac{T_B}{T_P} = \sqrt{\frac{g_B}{g_P}}$$

$$\frac{2}{T_P} = \sqrt{\frac{4}{9}}$$

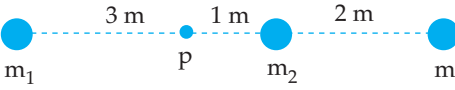
$$\frac{2}{T_P} = \frac{2}{3}$$

$$T_P = 3 \text{ sekon}$$

## Uji Pemahaman 2.2

Kerjakan soal berikut!

1. Dua buah titik partikel pada jarak  $R$  satu dengan yang lainnya tarik menarik dengan gaya sebesar 9 N. Jika jarak kedua bola dibuat menjadi  $0,5 R$ , maka berapakah gaya tarik menariknya sekarang?
2. Dua buah benda masing-masing dengan massa  $m$  dan 4 m terpisah pada jarak 3 m satu dengan yang lainnya. Tentukan letak benda yang bermassa 0,25 m dari benda yang bermassa  $m$  agar gaya gravitasi yang dialami oleh benda yang bermassa 0,25 m tersebut sama dengan nol!
3. Jika bumi dapat dianggap sebagai bola dengan jari-jari  $6,4 \cdot 10^6$  m dan percepatan gravitasi rata-rata di permukaan bumi  $= 10 \text{ m/s}^2$ , maka berapakah massa bumi?
4. Benda A dengan massa 1 kg dan benda B dengan massa 2 kg terpisah pada jarak 2 m satu dengan yang lain. Titik P berada 2 m dari benda A dan 2 m dari benda B. Berapakah kuat medan gravitasi di titik P?

5.  Gambar di samping menggambarkan benda  $m_1 = 9 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 \text{ kg}$  dan  $m_3$  terletak pada satu garis lurus.

Agar kuat medan gravitasi di titik P  $= 3G$  dengan arah ke kanan, berapakah nilai dari  $m_3$  ( $G$  = Konstanta gravitasi umum)?

# Rangkuman

- Gaya gesekan, yaitu gaya yang timbul pada bidang singgung dua benda yang relatif saling bergerak.
  - a. Pada saat benda tepat akan bergerak:  $f_{s(max)} = \mu_s \cdot N$
  - b. Pada saat benda bergerak:  $f_k = \mu_k \cdot N$
- Medan gravitasi adalah daerah yang masih mendapat pengaruh gaya gravitasi suatu benda.
- Gaya gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara dua benda.
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$
- Kuat medan gravitasi adalah besarnya gaya gravitasi tiap satuan massa dari benda yang berada dalam medan gravitasi.
$$g = \frac{F}{m'} = G \frac{m}{R^2}$$
- Gerakan benda angkasa dalam tata surya mengikuti hukum Kepler.

## KATA KUNCI

- Gaya gerak (friksi)
- Koefisien gesek
- Medan gravitasi
- Gaya gravitasi
- Teori geosentris
- Teori heliosentris
- Konstanta gravitasi

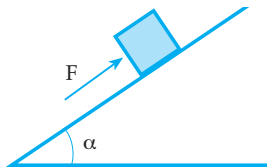


## UJI KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

- Jika kita melempar benda pada permukaan bidang, ternyata benda tersebut akhirnya berhenti. Hal tersebut dikarenakan ....
  - tidak adanya permukaan bidang singgung yang licin sempurna
  - setiap benda yang terletak pada permukaan bidang selalu timbul gaya gesekan
  - besar gaya gesek statis tergantung pada berat benda
  - koefisien gesek statis tergantung pada berat benda
  - koefisien gesek dinamis sebanding dengan berat benda

2.



Sebuah benda dengan berat  $W$  terletak pada bidang miring kasar dengan koefisien gesekan statis  $= \mu_s$  dan koefisien gesekan kinetis  $= \mu_k$ . Pada benda bekerja gaya  $F$  sejajar bidang miring. Jika benda tepat akan bergerak maka diperoleh ....

- $F = W \sin \alpha - \mu_s \cdot W \cdot \cos \alpha$
- $F = W \sin \alpha - \mu_s \cdot W \cdot \sin \alpha$
- $F = W \sin \alpha + \mu_s \cdot W \cdot \cos \alpha$
- $F = W \sin \alpha + \mu_s \cdot W \cdot \sin \alpha$
- $F = W \sin \alpha + \mu_k \cdot W \cdot \cos \alpha$

- Semakin besar berat benda, semakin besar pula gaya yang kita berikan pada benda yang terletak pada suatu bidang datar agar dapat bergerak. Hal tersebut dikarenakan ....
  - besar gaya yang kita berikan sebanding dengan berat benda
  - benda semakin lembam
  - benda semakin besar
  - benda semakin stabil
  - gaya tekan benda pada bidang semakin besar
- Gaya terkecil yang dapat menggerakkan sebuah benda yang terletak pada suatu bidang sebesar ....
  - kurang dari  $f_{s(\max)}$
  - $f_{s(\max)}$
  - lebih dari  $f_{s(\max)}$
  - $\frac{1}{2} f_{s(\max)}$
  - sebesar gaya yang bekerja pada benda
- Memperlicin bidang singgung.
  - Memberi bantalan angin pada bidang singgung.
  - Memperkecil massa benda.


Pernyataan di atas yang terkait dengan usaha mempermudah menggerakkan benda yang terletak pada suatu bidang adalah ....

  - 1) dan 3)
  - 2) dan 3)
  - 1) dan 2)
  - 1), 2), dan 3)
  - 1)

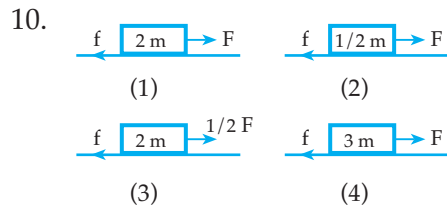
6. Sebuah benda dengan massa 0,5 kg dilempar pada bidang miring kasar dengan  $\mu_k = 0,4$  dan sudut kemiringan bidang  $37^\circ$ . Jika kecepatan awal pelepasan benda = 18,4 m/s, maka benda akan berhenti setelah menempuh jarak ....
- 18,4 m
  - 36,8 m
  - 28,6 m
  - 30,4 m
  - 8,4 m



Benda dengan massa 10 kg terletak pada bidang datar kasar dengan  $\mu_s = 0,7$  dan  $\mu_k = 0,5$ . Pada benda bekerja gaya  $F$  mendatar sehingga benda bergerak lurus beraturan dengan kecepatan 3 m/s. Besar gaya  $F$  adalah ....

- 70 N
  - 30 N
  - 2,1 N
  - 50 N
  - 1,5 N
8. 
- Balok A dan B bergerak dengan kecepatan seperti pada gambar. Antara lantai dan balok A timbulnya gesekan  $f_1$  dan antara balok A dan balok B timbul gaya gesekan  $f_2$ . Arah gaya gesekan yang bekerja pada balok A adalah ....
- $f_1$  ke kanan dan  $f_2$  ke kiri
  - $f_1$  ke kiri dan  $f_2$  ke kiri
  - $f_1$  ke kanan dan  $f_2$  ke kanan
  - $f_1$  ke kiri dan  $f_2$  ke kanan
  - $f_1$  ke kanan dan  $f_2$  tak tentu

9. Koefisien gesek statis antara sebuah almari kayu dengan bak mobil pick up = 0,75. Percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki mobil pick up agar almari tetap tidak bergerak terhadap bak mobil adalah ....
- nol
  - 2,5 m/s<sup>2</sup>
  - 0,75 m/s<sup>2</sup>
  - 7,5 m/s<sup>2</sup>
  - 10 m/s<sup>2</sup>



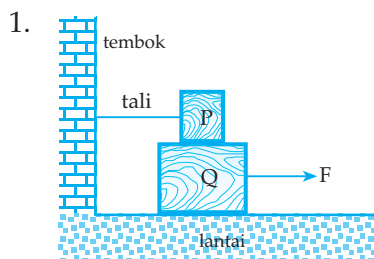
Gambar di atas menunjukkan 4 buah balok yang dipengaruhi empat buah gaya. Bila balok tersebut tepat akan bergerak, maka koefisien gesekan statis terkecil antara lantai dan balok ditunjukkan oleh gambar ....

- (1)
  - (2)
  - (3)
  - (4)
  - (2) dan (4)
11. Lambang dimensi dari Konstanta gravitasi ( $G$ ) adalah ....
- $ML^3T^{-2}$
  - $M^{-1}L^3T^2$
  - $ML^{-3}T^{-3}$
  - $M^{-1}L^3T^{-2}$
  - $M^{-1}L^{-3}T^{-2}$
12. Berat benda A di planet x = 2 kali berat benda A di planet y, maka percepatan gravitasi planet x = ... percepatan gravitasi planet y.
- 2 kali
  - 4 kali
  - $\frac{1}{2}$  kali
  - $\frac{1}{4}$  kali
  - 5 kali
13. Sebuah benda yang mula-mula di permukaan bumi, bila dinaikkan setinggi  $3R$  dari permukaan bumi, dimana  $R$  = jari-jari bumi akan mengalami penyusutan berat sebesar ....
- 93,75%
  - 6,25%
  - 16%
  - 94%
  - 3,75%

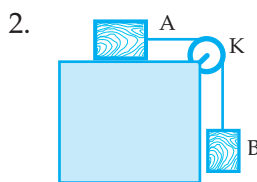


14. Pesawat angkasa luar pada Ketinggian  $h$  meter dari pusat bumi mengalami gaya gravitasi bumi sebesar  $F$ . Pada saat gaya gravitasinya menjadi  $\frac{1}{4} F$ , jari-jari bumi =  $R$  maka ketinggian pesawat dari permukaan bumi setinggi ... meter.
- $2h$
  - $\frac{1}{4}h$
  - $2h - R$
  - $\frac{1}{2}h - R$
  - $4h + R$
15. Andaikan bumi ini menyusut sehingga diameternya menjadi seperdua harga semula, tetapi massanya tidak berubah, maka massa benda yang ada di permukaan bumi ....
- menjadi empat kali lebih besar
  - menjadi dua kali lebih besar
  - menjadi seperempat harga semula
  - menjadi setengah semula
  - tidak berubah

### B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!



- Dari gambar di samping jika  $m_P = 1 \text{ kg}$  ;  $m_Q = 2 \text{ kg}$ . Koefisien gesekan antara P dan Q = 0,4 dan koefisien gesekan antara Q dan lantai = 0,8 dan pada saat ditarik dengan gaya  $F$  sistem tepat akan bergerak, tentukan:
- nilai dari  $F$
  - besar gaya tegang tali



- Dari gambar di samping massa benda  $A = 4 \text{ kg}$  dan massa benda  $B = 2 \text{ kg}$ . Jika koefisien gesekan antara benda A dan bidang datar  $\mu_s = 0,4$  dan  $\mu_k = 0,35$  dan sistem dilepaskan tentukan kecepatan benda A dan benda B setelah 4 sekon dari saat sistem dilepaskan!
- Sebuah mobil dengan massa 5 kw sedang malaju pada jalan tikungan datar kasar dengan koefisien gesek = 0,8 dan jari-jari lintasan mobil = 50 m.
    - Hitunglah besar kecepatan maksimum mobil agar mobil tidak slip!
    - Pada lintasan mobil tersebut ada mobil lain yang bermassa 2 kw yang melaju dengan kecepatan maksimum sama dengan kecepatan maksimum mobil pertama. Apakah mobil kedua juga tidak slip? Jelaskan!
  - Bola A yang bermassa 10 kg berada 4 m sebelah timur bola B yang bermassa 5 kg. Sedangkan bola C bermassa 20 kg berada 3 m di sebelah selatan bola B. Hitunglah besar gaya gravitasi yang dialami oleh:
    - bola B
    - bola A
  - Massa sebuah planet = 4 kali massa bumi dan jari-jari planet = 3 kali jari-jari bumi. Maka jika berat sebuah benda di bumi sebesar 90 N, tentukan berat benda tersebut jika dibawa di planet tersebut!

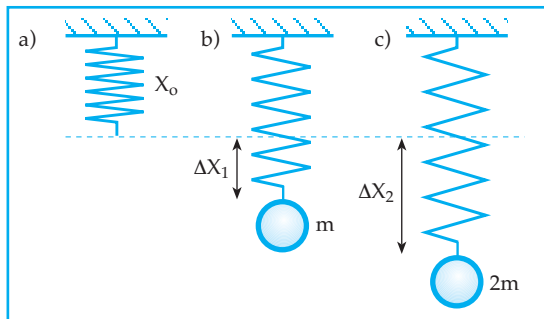
# 3

## GAYA PEGAS DAN GERAK HARMONIK

Setelah mempelajari materi "Gaya Pegas dan Gerak Harmonik" diharapkan Anda mampu membandingkan tetapan gaya berdasarkan data pengamatan, mengidentifikasi modulus elastisitas dan konstanta gaya. Selain itu Anda diharapkan mampu mendeskripsikan karakteristik gerak pada getaran pegas serta memahami hubungan periode getaran dan massa beban, menganalisis gaya simpangan kecepatan dan percepatan pada gerak getaran.



## A. GAYA PEGAS



Gambar 3.1 Gaya pegas

Gambar 3.1 (a) : pegas dalam keadaan tergantung dengan panjang  $x_0$

Gambar 3.1 (b) : pegas dalam keadaan tergantung dan pada ujung bebas digantungkan beban bermassa  $m$ , sehingga panjangnya menjadi  $x_1$  atau bertambah panjang  $\Delta x_1$ .

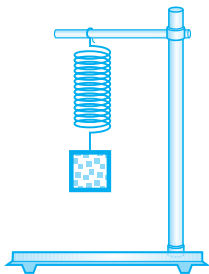
Gambar 3.1 (c) : pegas dalam keadaan tergantung dan pada ujung bebas digantungkan beban bermassa  $2m$ , sehingga panjangnya menjadi  $x_2$  atau bertambah panjang  $\Delta x_2$ .

Pertambahan panjang pegas karena adanya gaya berat beban yang bekerja pada pegas.

Bagaimanakah hubungan gaya berat benda yang bekerja pada pegas dan pertambahan panjang pegas?

Lakukan percobaan berikut!

### Percobaan 3.1: Gaya pegas (Hukum HOOKE)



Rakit statif sesuai gambar, pasang balok penahan pada batang statif. Pasang jepit penahan pada penahan pada balok pendukung, kemudian gantungkan pegas spiral.

Gantungkan 1 beban ( $W = 0,5 \text{ N}$ ) pada pegas sebagai gaya awal ( $F_0$ ). Ukur panjang awal ( $x_0$ ) pegas dan catat hasilnya pada tabel. Tambahkan satu beban dan ukur kembali panjang pegas ( $x_1$ )! Catat hasil pengamatan dalam tabel. Ulangi langkah ini dengan setiap kali menambah 1 beban ( $0,5 \text{ N}$ ) sampai berat beban  $2,5 \text{ N}$ . Catat hasil pengamatan pada tabel!

$x_0 = \dots\dots\dots m$  ;  $F_0 = \dots\dots\dots N$

Gambar grafik pertambahan panjang pegas terhadap penambahan gaya!

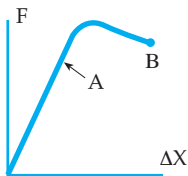
### Diskusi

Bagaimanakah nilai dari pertambahan panjang pegas dan penambahan gaya? Bagaimanakah nilai dari  $\frac{\Delta F}{\Delta x}$ ? Nilai dari  $\frac{\Delta F}{\Delta x}$  disebut konstanta gaya pegas (K).

Nyatakan hubungan antara  $\frac{\Delta F}{\Delta x}$  dengan K? Tulis kesimpulan yang Anda dapatkan dari percobaan di atas!

### Informasi

Grafik hubungan F dan  $\Delta x$

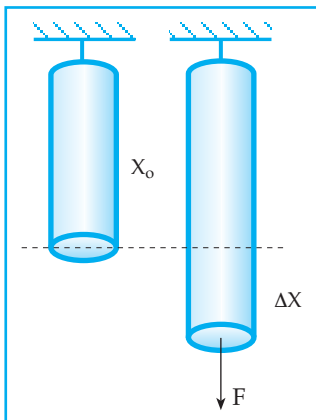


A = batas linieritas

B = batas kelentingan atau batas elastisitas

## 1. Modulus Elastis

### a. Tegangan/stress ( $\tau$ )



Gambar 3.3 Regangan bahan elastis berbentuk silinder

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya terhadap luas penampang di mana gaya tersebut bekerja. Gambar di samping melukiskan sebuah bahan elastis berbentuk silinder dengan panjang mula-mula  $X_0$  dan luas penampang A dalam keadaan tergantung. Kemudian pada ujung bebasnya ditarik dengan gaya F sehingga bertambah panjang  $\Delta x$ , diperoleh:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$\tau$  = tegangan ( $\text{N/m}^2$ )

F = gaya (N)

A = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

### b. Regangan/strain ( $\epsilon$ )

Perbandingan antara pertambahan panjang suatu batang terhadap panjang mula-mula:

$$\epsilon = \frac{\Delta X}{X_0}$$

$\epsilon$  = Regangan

$\Delta X$  = Pertambahan panjang (m)

$X_0$  = Panjang mula-mula (m)

Catatan:  $\epsilon$  tidak mempunyai satuan

c. **Modulus elastis/Modulus young (E)**

Perbandingan antara Tegangan dan Regangan

$$E = \frac{\tau}{\epsilon} = \frac{F \cdot X_o}{A \cdot \Delta X} = \frac{K \cdot X_o}{A}$$

E = Modulus elastis (N/m<sup>2</sup>)

**Contoh Soal 3.1**

1. Sebuah pegas dalam keadaan tergantung bebas mempunyai panjang 10 cm. Pada ujung bebas digantungkan beban 200 gram hingga panjang pegas menjadi 11 cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapakah konstanta gaya pegas tersebut?

*Penyelesaian*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } X_o &= 10 \text{ cm} &&= 0,1 \text{ m} \\ m &= 200 \text{ gram} &&= 0,2 \text{ kg} \\ X_t &= 11 \text{ cm} &&= 0,11 \text{ m} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Ditanya: K

Jawab:

$$\Delta X = X_t - X_o$$

$$\Delta X = 0,11 - 0,1 = 0,01 \text{ m}$$

$$K = \frac{F}{\Delta X} = \frac{m \cdot g}{\Delta X}$$

$$K = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ N/m}$$

2. Sebuah bahan elastis dalam keadaan tergantung bebas. Pada saat ujung yang bebas digantungi dengan beban 50 gram, bahan elastis bertambah panjang 5 mm. Berapakah pertambahan panjang bahan elastis tersebut jika ujung yang bebas digantungi dengan beban 150 gram?

*Penyelesaian*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } m_1 &= 50 \text{ gram; } \Delta X_1 = 5 \text{ mm} \\ m_2 &= 150 \text{ gram} \end{aligned}$$

Ditanya:  $\Delta X_2$

Jawab:

$$\frac{m_1}{\Delta X_1} = \frac{m_2}{\Delta X_2}$$

$$\frac{50}{5} = \frac{150}{\Delta X_2}$$

$$\Delta X_2 = \frac{750}{50} = 15 \text{ mm}$$

3. Sebuah bahan elastis silinder dengan panjang 20 cm dan luas penampang  $5 \text{ cm}^2$  dalam keadaan tergantung bebas. Pada penampang yang bebas ditarik dengan gaya 2 Newton sehingga bahan bertambah panjang 1 cm.

Hitunglah:

- teganglah (stress) dari bahan elastis tersebut
- regangan (strain) dari bahan elastis tersebut
- modulus elastis bahan tersebut!

*Penyelesaian*

Diketahui :  $X_0 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$

$$A = 5 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 2 \text{ N}$$

$$\Delta X = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$$

Ditanya : a.  $\tau = \dots?$

b.  $\varepsilon = \dots?$

c.  $E = \dots?$

Jawab:

$$\text{a. } \tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{2}{5 \cdot 10^{-4}}$$

$$\tau = 4000 \text{ N/m}^2$$

$$\text{b. } \varepsilon = \frac{\Delta X}{X_0}$$

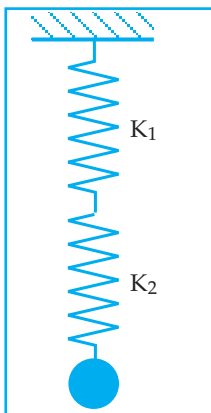
$$\varepsilon = \frac{0,01}{0,2} = 0,05$$

$$\text{c. } E = \frac{\tau}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{4000}{0,05} = 8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

## 2. Rangkaian Pegas

### a. Rangkaian seri



$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

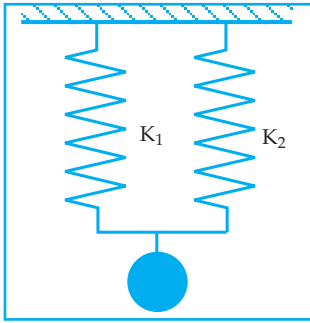
$$\frac{F}{K_s} = \frac{F_1}{K_1} + \frac{F_2}{K_2} \rightarrow F = F_1 = F_2$$

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

Gambar 3.3

Rangkaian seri pegas

### b. Rangkaian paralel



Gambar 3.4 Rangkaian paralel pegas

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ K_p \cdot \Delta x &= K_1 \cdot \Delta x_1 + K_2 \cdot \Delta x_2 \rightarrow \Delta x = \Delta x_1 = \Delta x_2 \\ K_p &= K_1 + K_2 \end{aligned}$$

### Contoh Soal 3.2

Dua buah pegas dengan panjang sama dan konstanta gaya masing-masing 300 N/m dan 600 N/m dirangkai. Pada ujung rangkaian digantungkan beban dengan massa 0,9 kg. Berapakah pertambahan panjang rangkaian pegas jika kedua pegas dirangkai secara:

- seri
- paralel?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $K_1 = 300 \text{ N/m}$  ;  $K_2 = 600 \text{ N/m}$  ;  $m = 0,9 \text{ kg}$

Ditanya:  $\Delta_x$  jika kedua pegas dirangkai

- secara seri
- secara paralel

Jawab:

a.

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_s} &= \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \\ \frac{1}{K_s} &= \frac{1}{300} + \frac{1}{600} = \frac{3}{600} \\ K_s &= 200 \text{ N/m} \\ F &= mg = 9 \text{ N} \\ \Delta_x &= \frac{F}{K_s} = \frac{9}{200} = 0,045 \text{ m} \end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned} K_p &= K_1 + K_2 \\ K_p &= 300 + 600 = 900 \text{ N/m} \\ \Delta_x &= \frac{F}{K_p} = \frac{9}{900} = 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

## B. GERAK GETARAN

### 1. Gerak Benda di Bawah Pengaruh Gaya Pegas

Dari hasil percobaan di atas, pada saat pegas yang tergantung bebas digantungkan suatu beban, ternyata pegas bertambah panjang.

Pertambahan panjang pegas dikarenakan adanya gaya berat yang bekerja pada pegas tersebut. Menurut hukum III Newton, jika pada pegas dikerjakan gaya aksi, yaitu berupa gaya beban, maka pada pegas timbul gaya reaksi yang disebut gaya pegas.

Besar gaya aksi sama dengan besar gaya reaksi tetapi dengan arah yang saling berlawanan.

Dari hasil percobaan diketahui bahwa besar pertambahan gaya berat beban sebanding dengan pertambahan panjang pegas.

$\Delta F \propto \Delta x$ , sehingga dalam persamaaan dapat dinyatakan dengan  $\Delta F = K \cdot \Delta x$ .

Untuk itu gaya pegas ( $F$ ) dapat juga dinyatakan dengan:

$$F = -K \cdot \Delta x$$

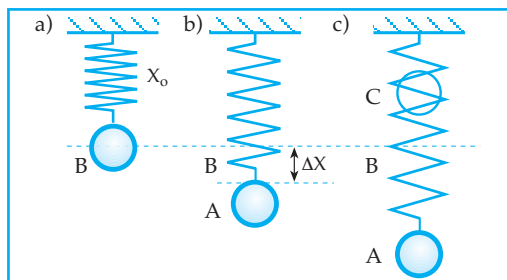
$F$  = gaya pegas (N)

$K$  = konstanta gaya pegas (N/m)

$\Delta x$  = pertambahan panjang pegas (m)

(-) = menyatakan arah gaya pegas selalu melawan arah perubahan bentuk

Bagaimanakah jika terdapat sebuah benda yang tergantung pada suatu pegas kemudian ditarik ke bawah dari titik setimbangnya dan dilepaskan? Untuk itu perhatikan gambar berikut!



Gambar 3.5 Gerak benda karena pengaruh gaya pegas

Keterangan :

Gambar 3.5 (a) : Benda dengan massa  $m$  tergantung pada pegas dengan konstanta gaya pegas  $= K$  dan setimbang di titik B

Gambar 3.5 (b) : Benda ditarik ke bawah sejauh  $\Delta x$  dari titik setimbang, sampai titik A

Gambar 3.5 (c) : Benda dilepaskan dan ternyata benda dapat bergerak bolak-balik melalui titik setimbangnya karena adanya pengaruh gaya pegas yang bekerja pada benda.

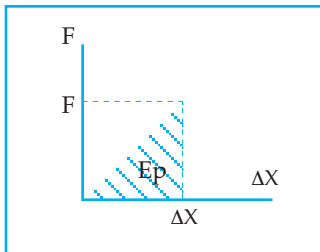


Dari keterangan di atas, pada saat benda yang tergantung pada pegas ditarik ke bawah dari titik setimbangnya pada pegas timbul suatu energi yang disebut energi potensial pegas.

Bagaimanakah cara menghitung energi potensial pegas?

Besar gaya pegas ( $F$ ) sebanding dengan pertambahan panjang ( $\Delta x$ ) atau  $F \propto \Delta x$ .

Dengan demikian grafik hubungan  $F \propto \Delta x$  dapat dinyatakan seperti gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Grafik hubungan  $F$  dan  $\Delta x$

Besar energi potensial pegas pada saat gaya  $F$  bekerja pada pegas dan pertambahan panjang pegas  $\Delta x$  sama dengan luas daerah yang diarsir.  $E_p$  = luas daerah yang diarsir, atau

$$E_p = \frac{1}{2} F \cdot \Delta x \quad \text{atau} \quad E_p = \frac{1}{2} K(\Delta x)^2$$

Besar energi potensial pegas berbanding lurus dengan kuadrat pertambahan panjang pegas.

Selama benda bergerak di bawah pengaruh gaya pegas, berlaku hukum kekekalan energi mekanik. Jika kita tinjau gerakan benda dari titik A ke titik B, diperoleh persamaan:

$$E_{mA} = E_{mB}$$

$$E_{KA} + E_{PA} = E_{KB} + E_{PB} \rightarrow E_{KA} = 0 \text{ (benda berhenti)}$$

$$E_{PB} = 0(\Delta x = 0)$$

$$\frac{1}{2} K(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} m V_B^2$$

$$V_B = \Delta x \sqrt{\frac{K}{m}}$$

$V_B$  = kecepatan benda di titik setimbang (m/s)

$\Delta x$  = pertambahan panjang. (simpangan) pegas (m)

$K$  = konstanta gaya pegas (N/m)

$m$  = massa benda (kg)

### Contoh Soal 3.3

1. Sebuah pegas dapat diregangkan sehingga bertambah panjang 10 cm dengan energi potensial 0,5 joule. Berapakah konstanta gaya pegas tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $\Delta X = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$E_p = 0,5 \text{ Joule}$

Ditanya:  $K$

Jawab:

$$E_p = \frac{1}{2} K(\Delta X)^2$$

$$0,5 = 0,5 \cdot K \cdot 0,01$$

$$K = 100 \text{ N/m}$$

5. Gerak harmonik pada pegas menggunakan pegas dengan Konstanta 10 N/m dan massa beban yang digantungkan 400 gram. Selama beban bergetar, berapakah waktu yang diperlukan untuk 10 getaran?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $K = 10 \text{ N/m}$

$$m = 400 \text{ gram} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ Kg}$$

$$N = 10 \text{ getaran}$$

Ditanya:  $t$

Jawab:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-1}}{10}}$$

$$T = 6,28 \cdot 2 \cdot 10^{-1} = 1,256 \text{ sekon}$$

$$T = \frac{t}{N}$$

$$t = T \cdot N = 1,256 \cdot 10 = 12,56 \text{ sekon}$$

### Kegiatan 3.1

Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan di bawah ini!

1. Benda yang digantung pada pegas, jika ditarik ke bawah dari titik setimbangnya, kemudian dilepaskan ternyata benda dapat bergerak bolak-balik melalui titik setimbangnya, karena pengaruh gaya pegas. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Jelaskan!
2. Sebutkan 4 manfaat pegas sebagai produk perkembangan teknologi dalam kehidupan sehari-hari.

### Uji Pemahaman 3.1

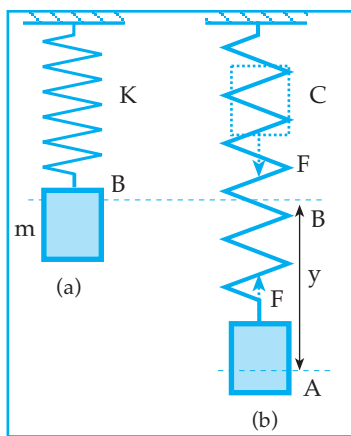
**Kerjakan soal berikut!**

1. Hitunglah sebuah pegas bila ditarik dengan gaya 100 N bertambah panjang 5 cm dengan:
  - a. konstanta pegas, dan
  - b. energi potensial pegas saat itu!

2. Modulus young suatu batang  $10^{12}$  N/m<sup>2</sup>. Bila panjang batang mula-mula 10 m, luas penampang 10 cm<sup>2</sup>, bekerja gaya sebesar  $10^5$  N berapakah pertambahan panjang batang?
3. Dua buah pegas mempunyai panjang sama dan konstanta masing-masing 200 N/m dan 100 N/m. Berapakah pertambahan panjang pegas bila diberi beban 30 N dan pegas dirangkai secara:
  - a. seri
  - b. paralel?

## 2. Gerak Harmonik Pada Pegas

Contoh benda yang dapat melakukan gerak harmonik adalah benda yang digantungkan pada pegas kemudian digetarkan (getaran pegas) dan benda yang digantung dengan tali kemudian diberi simpangan kecil dan diayun (ayunan sederhana). Perhatikan kegiatan tentang getaran pegas yang diilustrasikan pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Getaran pegas

Keterangan:

Gambar 3.7 (a) : Sebuah beban dengan massa  $m$  digantungkan pada pegas dengan konstanta gaya  $K$  dan beban setimbang di titik  $B$

Gambar 3.7 (b) : Beban ditarik sampai ke bawah sampai di titik  $A$  sejauh  $y$

Pada saat itu timbul gaya pegas  $F = K \cdot y$  dengan arah menuju titik setimbang (ke atas) sehingga pada saat beban dilepaskan beban bergerak ke atas sampai melampaui titik setimbang.

Setelah beban melampaui titik setimbang arah gaya pegas ke bawah (ke arah titik setimbang). Setelah beban sampai di titik  $C$ , beban bergerak ke bawah, selanjutnya beban bergerak harmonik. Gaya penggetar selalu mengarah ke titik setimbang.

### Kegiatan 3.2

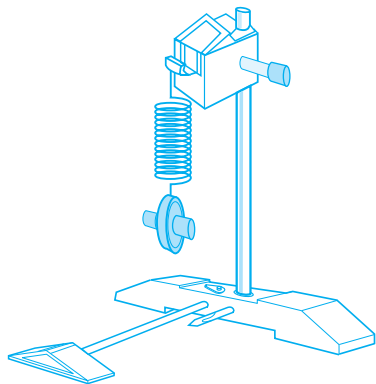
Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan berikut!

1. Dari persamaan  $m\omega^2 = K$ , di mana  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  buktikan bahwa periode gerak harmonik pada pegas dinyatakan dengan  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$  !

2. Buktikan persamaan frekuensi gerak harmonik!
3. Mengapa arah gaya penggerak pada gerak harmonik pegas dalam hal tersebut berupa gaya pegas selalu menuju titik setimbang?
4. Pada gerak harmonik pegas pada saat beban disimpangkan dari titik setimbang sejauh  $y$  dan dilepaskan periodenya  $T$ . Jika simpangannya  $= 2y$ , maka berapakah periodenya?  
Berilah penjelasan!

Agar lebih jelas pemahaman tentang gerak harmonik pegas, lakukan percobaan berikut.

**Percobaan 3.2:** Gerak harmonik pada pegas



Rakit statif sesuai gambar. Pasang balok pendukung pada batang statif. Pasang pegas spiral I. Ukur panjang pegas spiral I.  $x_1 = \dots \text{ cm} = \dots \text{ m}$ . Gantungkan 2 beban (50 gr dan 50 gr) pada ujung pegas dan ukurlah panjang pegas sekarang.  $x_2 = \dots \text{ cm} = \dots \text{ m}$ . Hitung konstanta gaya pegas I.

$$K_1 = \frac{m_b \cdot g}{x_2 - x_1} = \dots \text{ N/m}$$

Ganti pegas I dengan pegas II dan ulangi kegiatan pada paragraf pertama kemudian hitung konstanta

gaya pegas II.  $K_2 = \frac{m_b \cdot g}{x_2 - x_1} = \dots \text{ N/m}$  . Dalam keadaan ini, tarik beban ke bawah

sejauh 2 cm dan siapkan stop watch di tangan. Lepaskan beban, bersamaan dengan menekan (menghidupkan) stop watch. Hitung sampai 10 getaran dan tepat pada saat itu matikan stop watch. Catat hasil pengamatan ke dalam tabel. Hitung waktu 1 getaran (periode  $T$ ) dan lengkapi isian tabel.

Tambahkan 2 beban pada 2 beban menjadi 4 beban @ 50 gr yang tergantung pada pegas, kemudian ulangi kegiatan paragraf dua. Ganti pegas II dengan pegas I. Kemudian ulangi kegiatan paragraf dua. Ulangi kegiatan ini, tetapi dengan simpangan 3 cm!

Catat hasil pengamatan pada tabel dan selesaikan isian lainnya!

Simpangan (m)	0,02	0,02	0,02	0,03
Massa beban (kg)	0,10	0,20	0,10	0,10
Pegas dengan konstanta	$K_1 = \dots$	$K_1 = \dots$	$K_2 = \dots$	$K_2 = \dots$
Waktu untuk 10 getaran				
Periode $T$ (sekon)				

### Diskusi

Bagaimanakah hubungan nilai konstanta gaya pegas dengan periode?

Bagaimanakah hubungan nilai massa beban yang digantung dengan periode?

Bagaimanakah hubungan simpangan dengan periode?

Tulis kesimpulan Anda tentang faktor-faktor yang mempengaruhi periode gerak harmonik pegas!

### Uji Pemahaman 3.2

#### Kerjakan soal berikut!

1. Periode getaran harmonik pegas di bumi = 30 sekon. Berapakah periode getaran harmonik pegas tersebut bila diletakkan di bulan? (Percepatan gravitasi di bumi = 6 kali percepatan gravitasi di bulan)
2. Sebuah pegas pada saat ditarik sehingga bertambah panjang 2 cm mempunyai energi potensial 10 Joule. Berapakah energi potensial pegas tersebut jika pegas ditarik sehingga bertambah panjang 4 cm?

## Rangkuman

- Gaya pegas merupakan gaya yang berubah-ubah besar maupun arahnya
- Pertambahan panjang pegas karena adanya gaya berat beban yang bekerja pada pegas
- Tegangan ( $\sigma$ ) yaitu perbandingan antara gaya terhadap luas penampang di mana gaya tersebut bekerja:  $\tau = \frac{F}{A}$
- Regangan ( $\epsilon$ ) yaitu perbandingan antara pertambahan panjang suatu batang terhadap panjang mula-mula:  $\epsilon = \frac{\Delta x}{x_0}$
- Modulus elastis merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan  
$$E = \frac{\tau}{\epsilon} = \frac{F \cdot x_0}{A \cdot \Delta x} = \frac{K \cdot x_0}{A}$$
- Pertambahan gaya berat beban sebanding dengan pertambahan panjang pegas  $F = -K \cdot \Delta x$

- Energi potensial pegas :  $E_p = \frac{1}{2} F \cdot \Delta x$
- Hukum kekekalan energi mekanik pada pegas:  $V_B = \Delta x \sqrt{\frac{k}{m}}$
- Gerak harmonik pada pegas:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
- Konstanta gaya pegas:  $K = \frac{m_b \cdot g}{x_2 - x_1}$

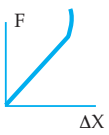
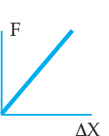
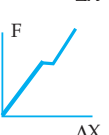
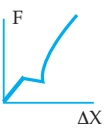
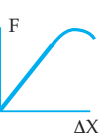
## KATA KUNCI

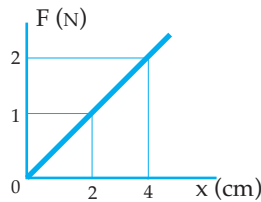
- Gaya pegas
- Tegangan (stress)
- Regangan (strain)
- Modulus elastis
- Gerak harmonik
- Getaran pegas
- Konstanta gaya pegas



## JI KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

1. Bahan di bawah ini yang tidak bersifat elastis adalah ....
  - a. karet
  - b. pegas
  - c. busa
  - d. plastisin
  - e. benang
2. Jika suatu bahan yang bersifat elastis ditarik dengan suatu gaya  $F$  yang nilainya semakin besar, maka grafik hubungan antara gaya  $F$  dan pertambahan panjangnya ( $\Delta X$ ) adalah ....
  - a. 
  - b. 
  - c. 
  - d. 
  - e. 
3. Jika suatu pegas ditarik dengan gaya sebesar  $F$  newton ternyata bertambah panjang  $x$  cm, maka konstanta pegas tersebut ....
  - a.  $(100 \frac{F}{x}) \text{ N/m}$
  - b.  $(\frac{F}{x}) \text{ N/m}$
  - c.  $(10^{-2} \frac{F}{x}) \text{ N/m}$
  - d.  $(\frac{F}{100 x}) \text{ N/m}$
  - e.  $(F \cdot x) \text{ N/m}$
4. Karet dengan panjang mula-mula 20 cm setelah digantungi beban 50 gram panjangnya menjadi 21 cm. Konstanta elastisitas karet tersebut adalah ....
  - a.  $0,5 \text{ N/m}$
  - b.  $5 \text{ N/m}$
  - c.  $50 \text{ N/m}$
  - d.  $500 \text{ N/m}$
  - e.  $1 \text{ N/m}$
5. Sebuah pegas panjang mula-mulanya  $X_0$  setelah digantungkan bahan bermassa  $m$  bertambah panjang  $x$ , jika beban yang digantungkan bermassa  $2m$  akan bertambah panjang ....
  - a.  $2X_0$
  - b.  $2(X_0 + x)$
  - c.  $2x$
  - d.  $X_0 + 2x$
  - e.  $\frac{1}{2} x$
6. Sebuah pegas setelah digantungkan beban 100 gram bertambah panjang 2 cm jika pada pegas tersebut digantungkan beban 40 gram bertambah panjang ....
  - a. 0,8 cm
  - b. 5 cm
  - c. 2,5 cm
  - d. 0,4 cm
  - e. 0,2 cm
7. Perbandingan antara gaya yang bekerja pada bahan elastisitas dengan luas penampang bahan elastis disebut ....
  - a. stress
  - b. strain
  - c. modulus young
  - d. konstanta
  - e. batas elastis

8. Suatu bahan elastis berbentuk silinder mempunyai diameter 2 mm dan panjang 5 cm. Ternyata modulus elastisitasnya 20 N/m. Konstanta elastisitas bahan tersebut adalah ....
- $4 \cdot \pi \cdot 10^{-1}$  N/m
  - $(\pi^4) 10^{-1}$  N/m
  - $3 \cdot \pi \cdot 10^{-1}$  N/m
  - $(4\pi) 10^{-1}$  N/m
  - $2 \cdot \pi \cdot 10^{-1}$  N/m
9. Sebuah pegas pada saat ditarik dengan gaya tertentu, bertambah panjang  $x$  dan energi potensialnya saat itu adalah  $E$ . Jika pegas tersebut ditarik dengan gaya lain sehingga bertambah panjang  $2x$ , maka energi potensial saat itu adalah ....
- $\frac{1}{2} E$
  - $2E$
  - $4E$
  - $\frac{1}{4} E$
  - $8E$
10. Sebuah pegas dengan panjang 10 cm diberi beban yang bermassa 50 gram bertambah panjang 0,02 m. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka konstanta elastis pegas adalah ....
- 25 N/m
  - 2,5 N/m
  - 50 N/m
  - 5 N/m
  - 0,5 N/m
11. Dua buah pegas mempunyai konstanta masing-masing 200 N/m dan 300 N/m. Pertambahan panjang pegas bila diberi beban 30 N dan pegas dirangkai secara paralel adalah ....
- 6 cm
  - 8 cm
  - 2 cm
  - 4 cm
  - 5 cm
12. 
- Grafik di atas menunjukkan pertambahan panjang karet di bawah pengaruh gaya yang berbeda. Besar energi potensial karet pada saat pertambahan panjang 8 cm adalah ....
- 0,16 J
  - 1,6 J
  - 0,64 J
  - 0,25 J
  - 0,24 J
13. Suatu pegas yang mempunyai konstanta pegas 1000 N/m dalam keadaan tergantung bebas. Kemudian pada bagian yang bebas digantungkan beban 10 kg sehingga pegas bertambah panjang. Kemudian ditarik 3 cm ke bawah dari kedudukan setimbang. Pada saat itu pegas mempunyai energi potensial sebesar ....
- 0,45 J
  - 15 J
  - 1,5 J
  - 4,5 J
  - 3 J
14. Pada getaran harmonik pegas jika massa beban yang digantung pada ujung bawah pegas 1 kg periode getarnya 2 detik. Jika massa beban ditambah sehingga menjadi 4 kg, maka periode getarannya adalah ....
- $\frac{1}{4}$  detik
  - $\frac{1}{2}$  detik
  - 1 detik
  - 4 detik
  - 8 detik



15. Sebuah pegas digantungkan vertikal, kemudian ujung bawahnya diberi beban 100 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik ke bawah kemudian dilepas

hingga beban bergetar harmonik. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka frekuensi getaran adalah .....

- a. 1,6 Hz      d. 4,8 Hz  
b. 2,5 Hz      e. 5,0 Hz  
c. 3,1 Hz

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

1. Sebuah pegas mempunyai konstanta  $2 \text{ N/m}$ . Bila panjang pegas mula-mula  $20 \text{ cm}$  kemudian setelah digantungi beban ternyata panjangnya menjadi  $25 \text{ cm}$ . Berapakah berat yang digantungkan?

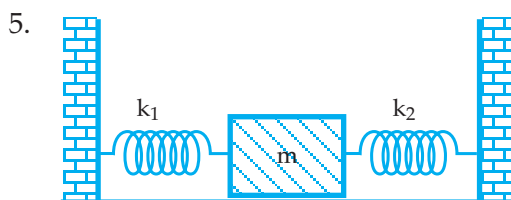
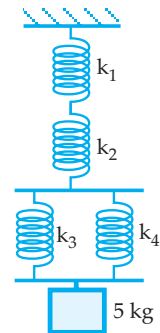
2. Empat buah pegas dirangkai seperti pada gambar di samping.

Jika  $K_1, K_2 = 200 \text{ N/m}$ ;

$K_3, K_4 = 75 \text{ N/m}$  maka

hitunglah:

- a. konstanta pegas pengganti  
b. pertambahan panjang pegas jika pada rangkaian pegas tersebut digantungi beban  $5 \text{ kg}$ .
3. Berapakah gaya yang menghasilkan pertambahan  $0,3 \text{ mm}$  pada seutas kawat baja yang panjangnya  $4 \text{ m}$  dari luas penampangnya  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  jika modulus young baja  $2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ . Berapakah pula energi yang tersimpan dalam kawat yang tegang tersebut?
4. Sebuah pegas digantungkan pada sebuah lift. Pada ujung pegas yang bebas digantungkan sebuah beban  $50 \text{ gram}$ . Bila lift diam, maka pegas bertambah panjang  $10 \text{ mm}$ . Berapakah pertambahan panjang pegas sewaktu lift:
- a. bergerak ke atas dengan kecepatan tetap  
b. bergerak ke atas dengan percepatan tetap  $4 \text{ m/s}^2$   
c. bergerak ke bawah dengan percepatan tetap  $4 \text{ m/s}^2$

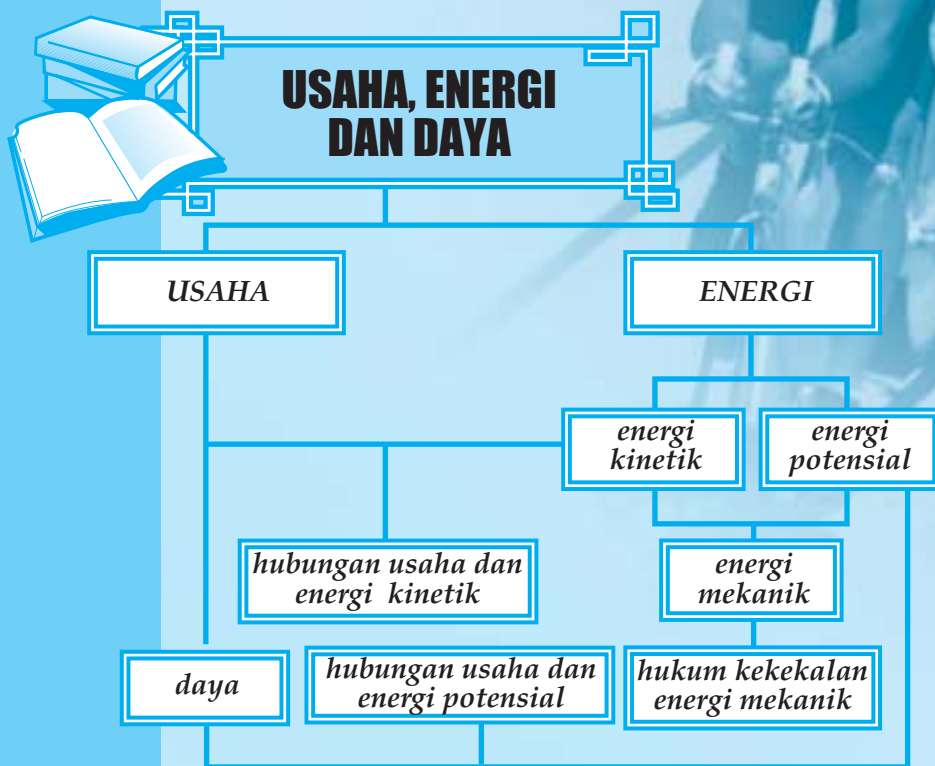


Pada sistem tersebut jika konstanta gaya pegas  $K_1 = 50 \text{ N/m}$  dan  $K_2 = 75 \text{ N/m}$  dan massa beban  $m = 1 \text{ kg}$ , dan jika beban digetarkan, berapakah jumlah getaran dalam waktu 1 menit?

# 4

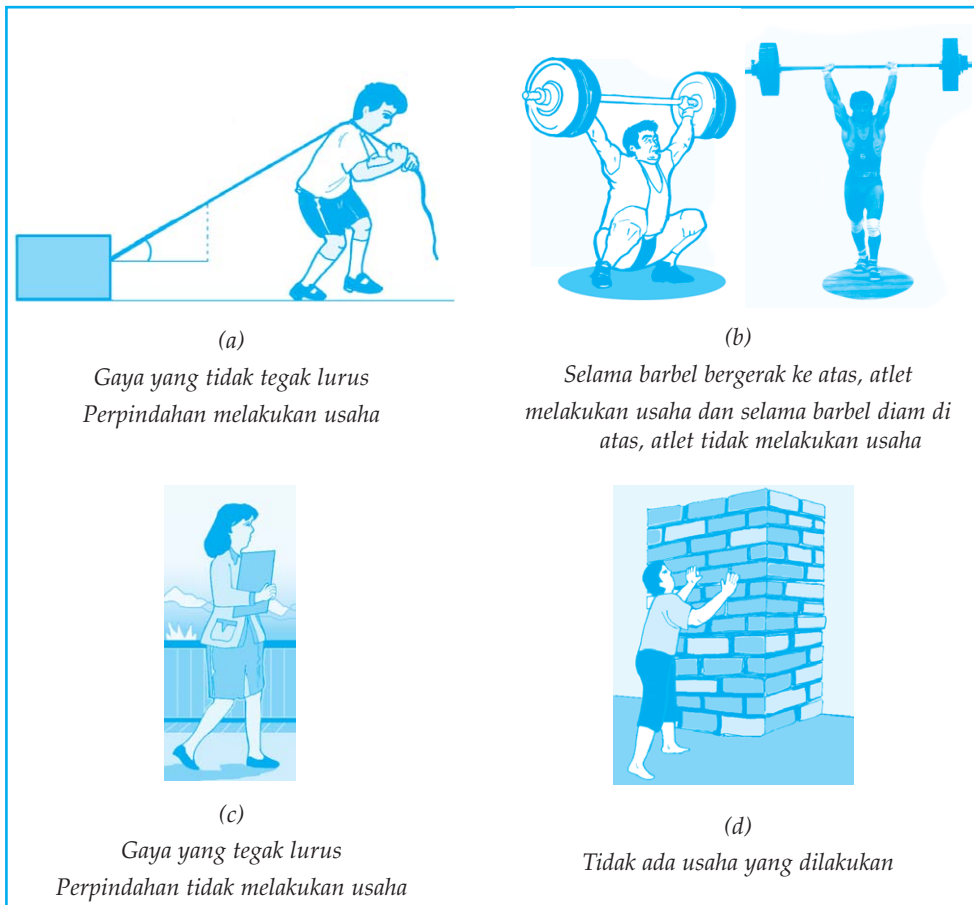
## USAHA, ENERGI, DAN DAYA

Setelah mempelajari materi "Usaha, Energi, dan Daya" diharapkan Anda dapat memahami hubungan antara usaha, energi, dan daya dengan hukum kekekalan energi mekanik. Selain itu diharapkan Anda dapat merumuskan bentuk hukum kekekalan energi mekanik dalam rangka memahami gejala alam dan keteraturannya.



Agar kita dapat melakukan suatu usaha diperlukan energi. Walaupun kita telah mengeluarkan energi dapat saja dikatakan kita tidak melakukan usaha, sebab pengertian usaha di dalam Fisika berbeda dengan pengertian usaha di dalam kehidupan sehari-hari.

Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 4.1 Beberapa macam kegiatan

Keterangan:

Gb. 4.1 (a) : Seseorang yang sedang memindahkan (menarik) sebuah balok kayu.

Selama itu orang telah melakukan usaha dan selama itu ia telah mengeluarkan energi.

Gb. 4.1 (b) : Seorang atlet angkat besi sedang mengangkat barbel.

- Selama barbel bergerak ke atas, dikatakan atlet tersebut melakukan usaha dan selama itu atlet mengeluarkan energi.
- Selama barbel terangkat di atas kepala dan diam dikatakan atlet tidak melakukan usaha walaupun atlet tersebut mengeluarkan energi untuk menahan benda tersebut.

Gb. 4.1 (c) : Seseorang sedang membawa buku dari suatu tempat ke tempat lain.

Selama orang tersebut membawa buku dikatakan tidak melakukan usaha walaupun orang tersebut telah mengeluarkan energi.

Gb. 4.1 (d) : Seorang sedang mendorong tembok dan tembok tidak bergerak.

Selama itu orang dikatakan tidak melakukan usaha walaupun selama ia mendorong tembok ia telah mengeluarkan energi.

### Kegiatan 4.1

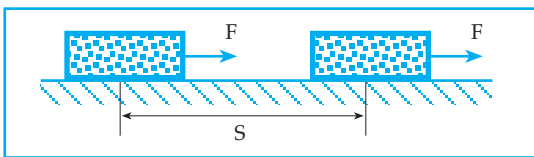
Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan di bawah ini!

1. Bilamanakah kita telah dikatakan melakukan usaha pada sebuah benda dalam pengertian fisika?
2. Bagaimana hubungan antara energi dan usaha?

### A. USAHA

Pengertian usaha dalam kehidupan sehari-hari berbeda dengan pengertian usaha dalam fisika.

Untuk memahami pengertian usaha dalam fisika perhatikan uraian berikut.



Gambar 4.2 Usaha oleh gaya yang searah perpindahan

Gambar 4.2 di atas melukiskan suatu gaya  $F$  bekerja pada sebuah benda yang terletak pada bidang datar, sehingga benda berpindah sejauh  $s$  searah dengan arah gaya  $F$ .

Selama perpindahan benda tersebut dikatakan gaya  $F$  telah melakukan suatu usaha pada benda yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$W = F \cdot S$$

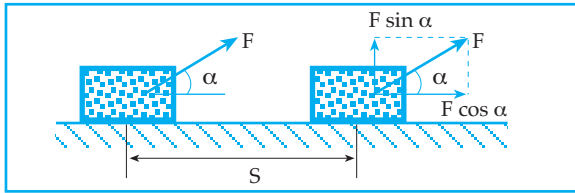
$F$  = gaya, dalam S.I bersatuan Newton (N).

$S$  = perpindahan, dalam S.I bersatuan meter (m).

$W$  = usaha, dalam S.I bersatuan N.m

Bagaimana usaha yang dilakukan oleh suatu gaya terhadap sebuah benda jika arah gaya tidak searah dengan perpindahan benda tersebut?

Untuk itu perhatikan uraian di bawah ini!



Gambar 4.3 Perpindahan benda oleh gaya  $F$

Gambar 4.3, melukiskan sebuah benda yang terletak pada bidang datar dikenai gaya  $F$  yang membentuk sudut  $\alpha$  terhadap bidang datar sehingga benda berpindah sejauh  $S$  searah bidang datar.

Untuk menentukan usaha yang dilakukan oleh gaya  $F$  terhadap benda selama perpindahan benda tersebut, gaya  $F$  diuraikan dulu menjadi dua komponen yaitu gaya yang tegak lurus terhadap arah perpindahannya ( $F \sin \alpha$ ), dan gaya yang searah dengan perpindahannya ( $F \cos \alpha$ ).

Analog dari uraian pada gambar 4.3, maka usaha yang dilakukan oleh gaya  $F$  pada benda selama perpindahan benda dapat dinyatakan dengan

$$W = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$W$  = usaha (N.m)

$F$  = besar gaya (N)

$S$  = jarak (m)

$\alpha$  = sudut yang dibentuk oleh arah gaya  $F$  dan arah perpindahan benda.

- Usaha sebagai proses menghasilkan gerak pada benda oleh pelaku gaya.
- Usaha sebagai hasil kali skalar antara vektor gaya dan vektor perpindahan benda.

## Kegiatan 4.2

Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan di bawah ini!

Dari uraian tentang usaha pada gambar 4.2 diperoleh persamaan  $W = F \cdot S$  dan pada gambar 4.3 diperoleh persamaan  $W = F \cdot S \cdot \cos \alpha$ . Dari kedua persamaan tersebut dapat didefinisikan pengertian usaha!

1. Dari kesimpulan tentang usaha poin ke 2 di atas, nyatakan persamaan usaha dalam perkalian vektor antara vektor gaya dan vektor perpindahan
2. Usaha merupakan suatu besaran skalar.  
Beri penjelasan!
3. Bagaimana usaha yang dilakukan oleh suatu gaya pada sebuah benda yang arah gayanya berlawanan dengan arah gerak benda?
4. Nyatakan persamaan usaha yang dilakukan oleh beberapa gaya yang bekerja pada sebuah benda selama perpindahan benda!

### Contoh soal 4.1

1. Suatu gaya 10 N bekerja pada sebuah benda yang bermassa 5 kg yang terletak pada bidang datar selama 10 sekon.

Jika benda mula-mula diam dan arah gaya searah dengan perpindahan benda, maka tentukan:

- jarak yang ditempuh benda selama 10 sekon.
- usaha yang dilakukan oleh gaya pada benda selama 10 sekon!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $F = 10 \text{ N}$  ;  $m = 5 \text{ kg}$  ;  $t = 10 \text{ sekon}$  ;  $V_o = 0$

Ditanya: a)  $S$                       b)  $W$

Jawab:

$$\text{a) } a = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2$$

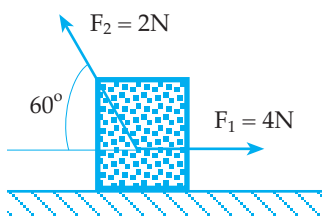
$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 100 \text{ m}$$

$$\text{b) } W = F \cdot s$$

$$W = 10 \cdot 100$$

$$W = 1000 \text{ joule}$$

- 2.



Gambar di samping melukiskan sebuah benda yang terletak pada bidang datar bekerja dua gaya dengan besar dan arah seperti terlihat pada gambar. Jika akibat kedua gaya tersebut benda berpindah ke kanan sejauh 0,5 m, berapakah usaha yang dilakukan oleh kedua gaya pada benda selama perpindahannya?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $F_1 = 4\text{N}$ ;  $\alpha_1 = 0^\circ$  (arah  $F_1$  searah perpindahan benda)

$F_2 = 2\text{N}$ ;  $\alpha_2 = 120^\circ$

$S = 0,5 \text{ m}$

Ditanya:  $W$

Jawab:

$$W = W_1 + W_2$$

$$W = F_1 \cdot S \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot S \cdot \cos \alpha_2$$

$$W = 4 \cdot 0,5 \cdot \cos 0^\circ + 2 \cdot 0,5 \cdot \cos 120^\circ$$

$$W = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ N.m}$$

## B. ENERGI KINETIK

Gaya merupakan penyebab perubahan gerak benda. Untuk memindahkan suatu benda diperlukan energi.

Energi yang dimiliki oleh benda yang sedang bergerak disebut energi kinetik. Adakah hubungan antara usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya konstan dengan energi kinetik benda selama benda bergerak karena gaya tersebut?

Jika pada sebuah benda dengan massa  $m$  bekerja gaya konstan sebesar  $F$ , sehingga benda berpindah sejauh  $s$  searah dengan gaya  $F$ , maka usaha yang dilakukan oleh gaya  $F$  selama perpindahan benda dapat dinyatakan dengan:

$$W = F \cdot s$$

Berdasarkan hukum II Newton :  $F = m \cdot a$

Pada GLBB didapat persamaan :

$$V_t^2 = V_o^2 + 2as \quad \text{atau} \quad s = \frac{V_t^2 - V_o^2}{2a}$$

$$W = F \cdot s$$

$$W = m \cdot a \left( \frac{V_t^2 - V_o^2}{2a} \right)$$

$$W = \frac{1}{2}mV_t^2 - \frac{1}{2}m \cdot V_o^2$$

Besaran  $\frac{1}{2}mV^2$  disebut energi kinetik ( $E_k$ ), sehingga untuk energi kinetik dapat dinyatakan:

$$E_k = \frac{1}{2}mV^2$$

$E_k$  = energi kinetik (joule)

$m$  = massa benda (kg)

$V$  = kecepatan gerak benda (m/s)

*Catatan:*

Satuan energi kinetik dalam CGS adalah erg dimana  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$ .

Dari persamaan:  $W = \frac{1}{2}mV_t^2 - \frac{1}{2}mV_o^2$  diperoleh persamaan:

$$W = E_{Kt} - E_{Ko}$$

atau

$$W = \Delta E_K$$

$E_k$  = energi kinetik (joule)

$E_{ko}$  = energi kinetik mula-mula

$\Delta E_k$  = perubahan energi kinetik

Dari uraian tersebut didapat bahwa pertambahan energi kinetik melalui usaha merupakan proses alih energi.

### Kegiatan 4.3

Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan berikut.

1. Dari uraian di atas, adakah hubungan antara usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya konstan yang bekerja pada suatu benda dengan energi kinetik benda selama benda bergerak karena pengaruh gaya tersebut?
2. Tentukan faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya energi kinetik!
3. Sebanding dengan apa sajakah besar energi kinetik?
4. Buatlah soal, yang mempunyai nilai energi kinetik = 10 joule!

### Contoh soal 4.2

1. Sebuah gaya konstan bekerja pada benda yang bermassa 1 kg yang mula-mula diam, sehingga setelah 2 sekon kecepatannya menjadi 4 m/s. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut selama 2 sekon itu?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 1 \text{ kg}$  ;  $v_o = 0$  ;  $t = 2 \text{ sekon}$  ;  $v_t = 4 \text{ m/s}$

Ditanya:  $W$

Jawab :

$$W = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_o^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 16 - 0 = 8 \text{ joule}$$

2. Sebuah mobil yang bermassa 2 ton, mula-mula bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Kemudian mobil direm dengan gaya konstan. Setelah menempuh jarak 150 m kecepatan mobil menjadi 36 km/jam, hitunglah:
  - a. usaha yang dilakukan oleh gaya pengereman selama mobil direm
  - b. besar gaya pengereman!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 2 \text{ ton} = 2000 \text{ kg}$

$v_o = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$

$S = 150 \text{ m}$

$v_t = 36 \text{ km/jam} = 10 \text{ m/s}$

Ditanya: a)  $W$       b)  $F$

Jawab:

a) 
$$W = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_o^2 = \frac{1}{2}m(v_t^2 - v_o^2)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 2000(100 - 400) = -300.000 \text{ joule}$$

b) 
$$W = F \cdot S$$

$$-300.000 = F \cdot 150$$

$$F = -2000 \text{ N}$$

Tanda (-) berarti arah gaya pengereman berlawanan dengan arah gerak mobil.



## Uji Pemahaman 4.1

### Kerjakan soal berikut!

1. Sebuah benda yang bermassa 2 kg terletak pada sebuah bidang datar licin. Pada benda tersebut bekerja sebuah gaya sebesar 4 N dalam arah yang mendatar selama 2 sekon.  
Berapakah usaha dan daya yang dilakukan gaya tersebut selama itu?
2. Pada sebuah benda bekerja 3 buah gaya  $F_1$ ,  $F_2$ , dan  $F_3$  sehingga berpindah sejauh S. Jika masing-masing gaya terhadap arah perpindahannya membentuk sudut  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , dan  $\alpha_3$ , maka tulislah persamaan usaha total yang dilakukan oleh ketiga gaya!

## C. DAYA

Untuk menyatakan besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya konstan tiap satuan waktu dapat dinyatakan dengan daya, yang diberi lambang P.

Jika dalam waktu t suatu gaya konstan telah melakukan usaha sebesar W, maka daya dari gaya selama itu dapat dinyatakan dengan:  $P = \frac{W}{t}$

Dalam S.I satuan W adalah joule dan satuan t adalah sekon, sehingga satuan P adalah joule/sekon.

Joule/sekon disebut juga watt, sehingga satuan dari daya dapat juga dinyatakan dengan watt.

Satuan daya yang lain yang sering digunakan adalah kilowatt (KW), daya kuda (pk) atau HP (*horse power*)

$$1 \text{ KW} = 10^3 \text{ watt}$$

$$1 \text{ pk} = 746 \text{ watt}$$

### Contoh Soal 4.3

Sebuah mesin traktor yang tertulis 20 pk digunakan selama 2 jam. Berapakah energi yang telah dikeluarkan traktor selama itu?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $P = 20 \text{ pk} = 14920 \text{ watt}$ ;  $t = 2 \text{ jam}$

Ditanya: W?

Jawab:  $W = P \cdot t$

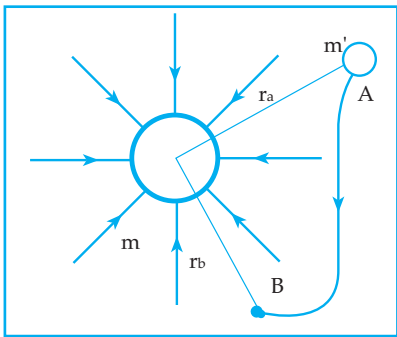
$$= 14920 \times 2 = 29840 \text{ WH}$$

$$= 29,840 \text{ KWH}$$

D. HUKUM KEKEKALAN ENERGI MEKANIK

Gambar 4.4 berikut melukiskan benda dengan massa  $m'$  yang berada dalam medan gravitasi benda yang bermassa  $m$  dipindahkan dari titik A ke titik B, dengan lintasan sembarang. Ternyata usaha untuk memindahkan  $m'$  dari titik A ke titik B tidak tergantung dari bentuk lintasan, tetapi hanya tergantung dari kedudukan awal dan kedudukan akhir.

Dengan demikian untuk memindahkan benda bermassa  $m'$  dari titik A ke titik B diperlukan usaha  $W_{AB}$  di mana  $W_{AB} = -G.m.m' \left( \frac{1}{R_b} - \frac{1}{R_a} \right)$



Gambar 4.4  
Medan gravitasi Newton

Usaha tersebut sama dengan perubahan energi potensial dari benda bermassa  $m'$ , sehingga:

$$W_{AB} = E_{PB} - E_{PA}.$$

atau

$$E_{PB} - E_{PA} = -G.m.m' \left( \frac{1}{R_b} - \frac{1}{R_a} \right)$$

Jika diambil titik A di tak terhingga ( $r_a = \infty$ ), maka energi potensial di titik A = nol, sehingga diperoleh persamaan:

$E_{PB} - 0 = -G.m.m' \left( \frac{1}{R_b} - \frac{1}{\infty} \right) \quad \rightarrow$

$E_{PB} = \frac{-G.m.m'}{R_b}$

$r_b$  adalah  $m'$  dari pusat benda yang bermassa  $m$ , yang dapat diambil sembarang, sehingga energi potensial benda bermassa  $m'$  yang berjarak  $r$  dari pusat benda yang bermassa  $m$  dapat dinyatakan dengan:

$E_p = \frac{-G.m.m'}{r}$

Dari persamaan energi potensial di atas didapat bahwa energi potensial yang dimiliki oleh benda yang bermassa  $m'$  yang berada dalam gravitasi benda bermassa  $m$  merupakan energi yang dimiliki oleh benda  $m'$  karena kedudukannya terhadap benda bermassa  $m$ . Energi potensial merupakan besaran skalar. Jika jarak benda  $m'$  terhadap permukaan benda  $m$  adalah  $h$  di mana  $h \ll R$  ( $R$  = jari-jari benda  $m$ ) maka energi potensial benda  $m'$  dapat dinyatakan:

$E_p = m' \cdot g \cdot h$

$E_p$  = energi potensial (joule)

$m'$  = massa benda uji (kg)

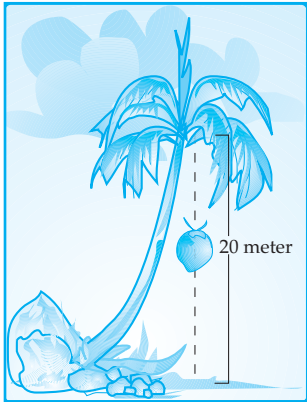
$g$  = kecepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = ketinggian  $h'$  dari bidang acuan (m)

Dengan demikian, jika terdapat benda yang bergerak dalam medan gravitasi, selain benda tersebut mempunyai energi kinetik juga memiliki energi potensial. Energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki oleh suatu benda disebut energi mekanik ( $E_m$ ).

$$E_m = E_k + E_p$$

Bagaimana nilai energi mekanik dari sebuah benda? Perhatikan uraian di bawah ini.



Gambar 4.5 Buah kelapa lepas dari dahannya

Gambar 4.5, menggambarkan buah kelapa yang bermassa 1 kg lepas dari dahannya dan melakukan jatuh bebas dari ketinggian 20 meter di tanah. Jika gerak buah kelapa kita analisa di dapat data seperti pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1

Nilai  $E_k$ ,  $E_p$ ,  $E_m$  untuk  $g = 10 \text{ m/s}^2$

No.	Waktu (t)	Ketinggian dari tanah $h = h_0 - \frac{1}{2}gt^2$	Kecepatan $v_t = g \cdot t$	Energi potensial $E_p = mgh$	Energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}mv^2$	Energi mekanik $E_m = E_k + E_p$
	sekon	meter	m/s	joule	joule	joule
1.	0	20	0	200	0	200
2.	0,5	18,75	5	187,5	12,5	200
3.	1,0	15	10	150	50	200
4.	2,0	0	20	0	200	200

Dari data di atas, selama buah kelapa jatuh bebas di dapat:

- Energi potensialnya mengecil
- Energi kinetiknya membesar
- Energi mekaniknya tetap

Dalam medan gravitasi konstan, energi mekanik yang dimiliki oleh suatu benda bernilai konstan.

$$Em_1 = Em_2 \quad \text{atau} \quad Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

Persamaan tersebut dinamakan hukum kekekalan energi mekanik.

#### Kegiatan 4.4

Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan di bawah ini!

1. Pada sebuah diesel tertulis 250 pk. Apakah arti tulisan tersebut?
2. Sebuah traktor dalam waktu 30 menit dapat melakukan usaha sebesar 134,28 Kj. Jika traktor tersebut direklamekan mempunyai daya 200 pk dengan efisiensi 80%, bagaimana dengan reklame tersebut? Jika tidak benar berapakah efisiensi traktor yang sebenarnya?

3. Apakah arti tanda negatif pada persamaan:

$$E_P = \frac{-G.m.m'}{r}$$

4. Bagaimana hubungan jarak benda terhadap energi potensial yang dimilikinya?
5. Diketahui benda bermassa  $m$  berada pada jarak  $h$  dari permukaan bumi dimana nilai  $h$  jauh lebih kecil dari jari-jari bumi ( $r < R$ ). Tunjukkan bahwa energi potensial yang dimiliki dapat dinyatakan:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$E_p$  = energi potensial

$m$  = massa benda

$g$  = percepatan gravitasi bumi

$h$  = jarak benda ke permukaan bumi

#### Contoh soal 4.4

1. Sebuah benda yang bermassa 1,5 kg dijatuhkan bebas dari ketinggian 6 m dari atas tanah. Berapakah energi kinetik benda pada saat benda mencapai ketinggian 2 m dari tanah? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 1,5 \text{ kg}$  ;  $h_1 = 6 \text{ m}$  ;  $h_2 = 2 \text{ m}$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ;  $V_1 = 0$

Ditanya:  $Ek_2$

Jawab:

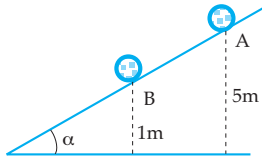
$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

$$0 + m \cdot g \cdot h_1 = Ek_2 + m \cdot g \cdot h_2$$

$$90 = Ek_2 + 30$$

$$Ek_2 = 60 \text{ joule}$$

2. Sebuah kelereng dilepaskan di titik A pada bidang miring, sehingga kelereng menggelinding ke bawah.  
Berapakah kecepatan kelereng di titik B? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



*Penyelesaian:*

Diketahui:  $h_1 = 5 \text{ m}$  ;  $h_2 = 1 \text{ m}$  ;  $V_1 = 0$  ;

Ditanya:  $V_2$

Jawab:

$$\frac{1}{2} m V_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m V_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$$

$$\frac{1}{2} V_1^2 + g \cdot h_1 = \frac{1}{2} V_2^2 + g \cdot h_2$$

$$0 + 50 = \frac{1}{2} V_2^2 + g \cdot h_2$$

$$\frac{1}{2} V_2^2 = 40 \quad V_2 = \sqrt{80} = 4\sqrt{5} \text{ m/s}$$

## Uji Pemahaman 4.2

**Kerjakan soal berikut!**

- Sebuah benda yang bermassa 1 kg mula-mula berada pada ketinggian 10 m dari permukaan tanah. Benda kemudian dijatuhkan bebas dan pada suatu saat mempunyai ketinggian 2 m dari permukaan tanah. Percepatan gravitasi di permukaan bumi =  $10 \text{ m/s}^2$ . Hitunglah:
  - energi potensial benda mula-mula
  - usaha yang dilakukan oleh gaya berat benda selama perubahan tersebut!
- Sebuah piring terbang dengan massa 5 kg sedang terbang mendatar pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah dengan kecepatan tetap 50 m/s, jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:
  - energi potensial piring terbang
  - energi kinetik piring terbang
  - energi mekanik piring terbang!

# Rangkuman

- Usaha:  $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$
- Energi kinetik:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
- Hubungan usaha dan energi kinetik:  $W = \Delta E_k$
- Daya:  $P = \frac{W}{t}$
- Energi potensial gravitasi:  $E_p = m \cdot g \cdot h$
- Hubungan usaha dan energi potensial:  $W = \Delta E_p$
- Energi mekanik:  $E_m = E_k + E_p$
- Hukum kekekalan energi mekanik:  
 $E_{k_1} + E_{p_1} = E_{k_2} + E_{p_2}$

## KATA KUNCI

- Usaha
- Energi
- Daya
- Energi potensial
- Energi mekanik

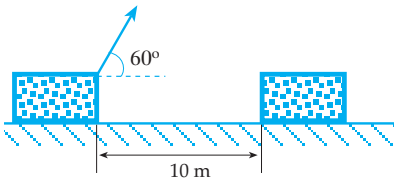


## KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

1. Sebuah benda melakukan gerakan jatuh bebas, semakin ke bawah ....
  - a.  $E_p$  tetap,  $E_k$  tetap
  - b.  $E_p$  bertambah,  $E_k$  tetap
  - c.  $(E_p + E_k)$  tetap
  - d.  $E_p = E_k$
  - e.  $(E_p + E_k)$  berubah.

2.



Untuk memindahkan benda sejauh 10 m, gaya  $F$  melakukan usaha 250 joule. Besarnya gaya  $F$  adalah ....

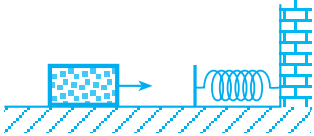
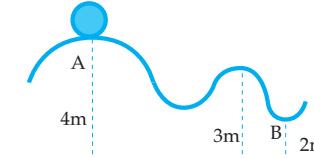
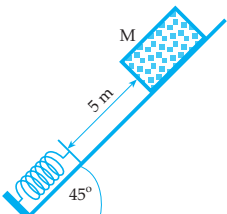
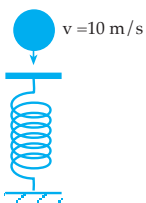
- a. 15 N
  - b. 5 N
  - c. 25 N
  - d. 30 N
  - e. 50 N
3. Sebuah benda dengan massa  $m$  bergerak dengan kecepatan  $V$  sehingga mempunyai energi kinetik  $E$  joule. Jika massa benda dibuat menjadi  $\frac{1}{2}$  kali massa mula-mula dari kecepatannya dibuat 2 kali kecepatan semula, maka energi kinetiknya menjadi ....
    - a.  $E$  joule
    - b.  $3E$  joule
    - c.  $4E$  joule
    - d.  $\frac{1}{4}E$  joule
    - e.  $2E$  joule
  4. Dua benda mempunyai massa sebanding 3: 2 dan kedua benda berada pada ketinggian dari tanah yang berbanding sebagai

3 : 4. Percepatan gravitasi masing-masing benda dianggap sama. Perbandingan energi potensial dari kedua benda adalah ....

- a. 9: 8
  - b. 1: 2
  - c. 3: 4
  - d. 5: 7
  - e. 3: 2
5. Besarnya usaha yang diperlukan untuk mendorong suatu benda sejauh 10 meter melalui lantai mendatar, apabila gaya gesekan yang harus ditentang 500 N ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) adalah ....
    - a. 5000 joule
    - b. 1000 joule
    - c. 1500 joule
    - d. 2000 joule
    - e. 2500 joule
  6. Sebuah bola dengan massa 100 gram dilempar ke atas pada dinding miring licin dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  dengan kecepatan awal 10 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}$ , maka usaha yang dilakukan oleh gaya berat bola mulai dilempar sampai saat bola akan kembali lagi adalah ....
    - a. 5 J
    - b. 10 J
    - c. -5J
    - d. -10 J
    - e. -1 J
  7. Sebuah benda jatuh bebas dengan energi potensial 200 J dari ketinggian  $h$  meter di tanah. Pada saat ketinggian benda dari tanah  $\frac{1}{2}h$ , energi kinetik benda sebesar ....
    - a. 150 J
    - b. 50 J
    - c. 100 J
    - d. 200 J
    - e. 75 J

8. Air terjun dengan ketinggian 20 m di atas tanah, tiap sekon mengalirkan air  $100 \text{ m}^3$ , besar energi tiap jam adalah ....
  - a.  $2 \cdot 10^7 \text{ J}$
  - b.  $7,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$
  - c.  $6,3 \cdot 10^9 \text{ J}$
  - d.  $72 \cdot 10^{11} \text{ J}$
  - e.  $3,6 \cdot 10^9 \text{ J}$
9. Sebuah benda dengan massa 2 kg bergerak dengan energi kinetik 16 joule. Kecepatan benda tersebut adalah ....
  - a. 4 m/s
  - b. 8 m/s
  - c. 32 m/s
  - d. 14 m/s
  - e. 10 m/s
10. Mesin sebuah pesawat menimbulkan gaya dorong 1350 N pada kecepatan 250 m/s. Daya dorong mesin tersebut adalah ....
  - a. 3750 watt
  - b. 1600 watt
  - c. 500 watt
  - d. 54 watt
  - e. 1100 watt

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

1.  Sebuah balok bermassa 2 kg menumbuk pegas horisontal tak bermassa dengan konstanta gaya 4 N/m (lihat gambar di samping). Balok menekan pegas sejauh 10 cm dari posisi kendurnya. Bila dianggap koefisien gesek kinetik antara balok dengan bidang horisontal adalah 0,2, berapakah laju balok pada saat mulai bertumbukan dengan pegas?
2.  Sebuah kelereng dengan massa 40 gram dilepas di A sehingga bergerak pada lintasan AB. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya berat kelereng dari titik A sampai titik B?
3. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Berapakah perbandingan energi kinetik pada saat 2 sekon dan 6 sekon dari saat benda dilemparkan?
4.  Benda M dengan massanya 1 kg jatuh menggelincir dari atas bidang miring dengan sudut kemiringan  $45^\circ$ . Benda tersebut menumbuk sebuah pegas yang terletak 5 m dari letak M semula. (lihat gambar di samping). Jika pegas tertekan sejauh 50 cm, hitunglah koefisien gesekan antara balok M dan bidang miring, jika konstanta pegas = 275 N/m!
5.  Sebuah pegas ( $K = 500 \text{ N/m}$ ), salah satu ujung pegas yang bebas dilempar dengan benda yang massanya 0,5 kg dengan kecepatan 10 m/s. Berapakah jauh pegas tertekan akibat dari pelepasan tersebut?

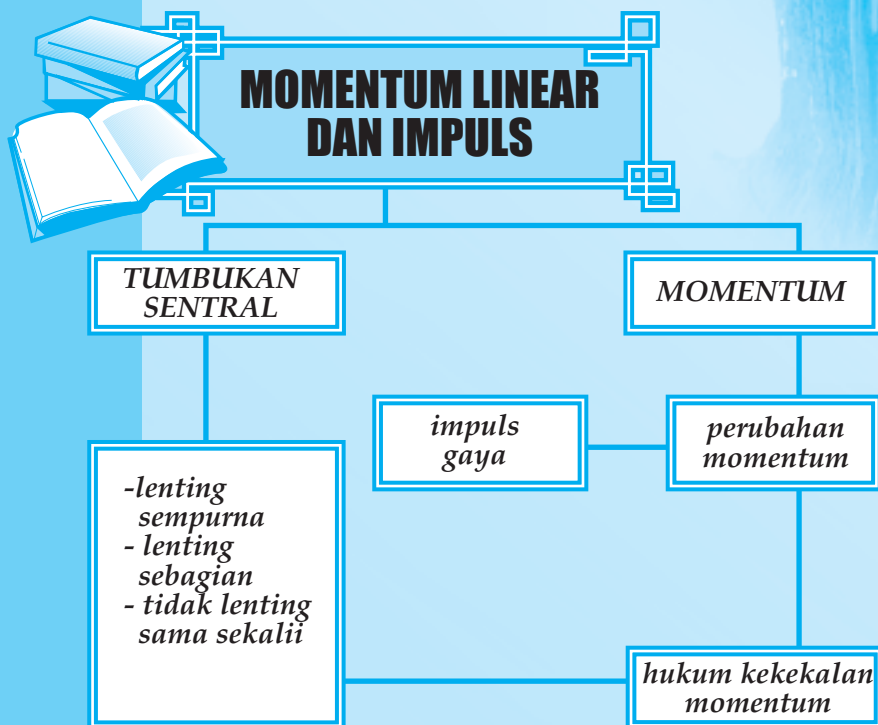




# 5

## MOMENTUM LINEAR DAN IMPULS

Setelah mempelajari materi "Momentum Linear dan Impuls" diharapkan Anda dapat merumuskan konsep impuls dan momentum, keterkaitan antarkeduanya serta aplikasinya dalam kehidupan. Selain itu diharapkan Anda dapat merumuskan hukum kekekalan momentum untuk sistem tanpa gaya luar serta mengintegrasikan hukum kekekalan energi dan momentum untuk berbagai peristiwa tumbukan.



A. IMPULS DAN MOMENTUM

Dalam percakapan sehari-hari sering mengambil beberapa istilah yang digunakan dalam sains, misalnya kata "momentum".

"Saat ini adalah momentum yang paling tepat untuk membekali kecakapan hidup (Life Skill) kepada anak didik, agar nantinya setelah terjun ke masyarakat mempunyai kemandirian yang mantap dan dapat bersaing di era pasar bebas".

Apakah arti momentum dalam percakapan sehari-hari itu sama dengan konsep momentum dalam sains?

Perhatikan gambaran kejadian berikut.



Gambar 5.1  
Orang sedang memasukan paku ke batang menggunakan martil

Gambar 5.1 melukiskan seorang yang sedang memasukkan paku ke dalam batang kayu menggunakan martil.

Agar paku dapat dengan mudah masuk ke dalam kayu, ada dua cara yang dapat dilakukan oleh orang tersebut.

- 1. Menggunakan martil dengan kecepatan besar.
- 2. Menggunakan martil yang bermassa besar.

Atau dengan kata lain, agar paku dengan mudah masuk ke dalam papan kayu harus menggunakan martil yang mempunyai momentum besar.

Dengan demikian arti momentum dalam Sains (Fisika) adalah hasil kali massa benda dengan kecepatan gerak benda.

Jika lambang momentum adalah P, maka:

$$p = m \cdot v$$

$m = \text{massa benda (kg)}$   
 $v = \text{kecepatan gerak benda (m/s)}$   
 $p = \text{momentum benda (Kg m/s)}$

Momentum merupakan besaran vektor.

Bila benda dengan massa m bergerak karena pengaruh gaya konstan F sehingga timbul percepatan sebesar a maka berdasar hukum II Newton diperoleh persamaan:

$$F = m \cdot a \rightarrow a = \frac{v_t - v_o}{\Delta t}$$
  
$$F = m \left( \frac{v_t - v_o}{\Delta t} \right)$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v_t - m \cdot v_o$$

F . Δt disebut impuls gaya yang bekerja pada suatu benda selama Δt.

$$I = F \cdot \Delta t$$

$F$  = gaya (N)

$\Delta t$  = selang waktu (sekon)

$I$  = impuls gaya (N . S)

Selanjutnya:  $m \cdot v_t$  = momentum benda pada saat  $t$

$m \cdot v_o$  = momentum benda mula-mula

$m \cdot v_t - m \cdot v_o = \Delta p$  (perubahan momentum)

Jadi  $I = \Delta p$  Impuls = perubahan momentum

### Contoh Soal 5.1

Sebuah mobil dengan massa 2 KW sedang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam, kemudian dipercepat dengan gaya konstan sehingga dalam waktu 5 sekon kecepatannya menjadi 80 km/jam.

Tentukan:

- momentum mobil sebelum dipercepat
- impuls gaya selama 5 sekon tersebut!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ KW} = 200 \text{ kg}$

$v_o = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$

$v_t = 80 \text{ km/jam} = 22,2 \text{ m/s}$

$t = 5 \text{ sekon}$

Ditanya: a.  $p_o$       b.  $I$

Jawab:

a.  $p_o = m \cdot v_o$

$$p_o = 200 \times 20 = 4000 \text{ kg m/s}$$

b.  $I = m(v_t - v_o)$

$$I = 200(22,2 - 20)$$

$$I = 440 \text{ kg m/s}$$

### Kegiatan 5.1

Diskusikan bersama teman-teman dalam satu kelompok Anda pertanyaan di bawah ini.

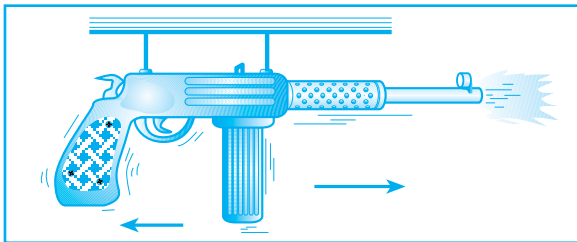
- Bilamana sebuah benda mempunyai momentum?
- Mengapa momentum merupakan besaran vektor?

3. Sebuah benda dengan massa  $m$  bergerak dengan kecepatan  $v$  sehingga mempunyai momentum  $= p$ .  
Bilamana benda tersebut mempunyai momentum  $= 2p$ ?
4. Besaran apa yang dapat mengubah momentum sebuah benda?
5. Dapatkah satuan untuk impuls dalam S.I dinyatakan dengan  $\text{kg m/s}$ ? Beri penjelasan!
6. Sebuah benda dengan massa  $m$  bergerak dengan kecepatan tetap sebesar  $v$ , sehingga mempunyai energi kinetik sebesar  $E_k$  dan momentum sebesar  $p$ .  
Nyatakan kecepatan gerak benda tersebut dalam bentuk energi kinetik dan momentumnya?

## B. HUKUM KEKALKAN MOMENTUM

Persamaan  $F \cdot \Delta t = \Delta p$  yang telah kita turunkan menyatakan bahwa momentum suatu sistem dapat berubah jika ada gaya dari luar yang bekerja pada sistem itu. Tanpa adanya gaya luar ini momentum sistem tidak berubah ( $\Delta p = 0$ ) atau *momentum sistem kekal*.

Sebagai gambaran kita tinjau sebuah senapan yang menembakkan peluru.



Gambar 5.2 Momentum kekal pada senapan

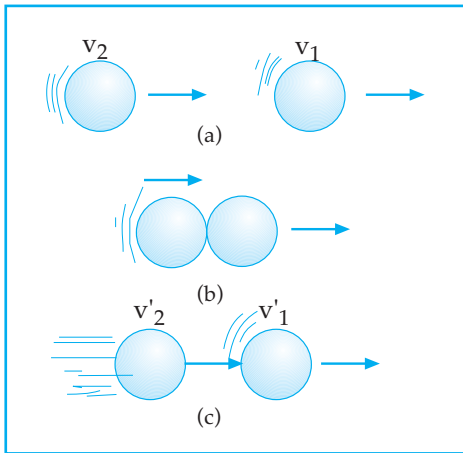
Sistem kita anggap terdiri atas peluru dan senapan. Pada sistem ini tidak ada gaya luar yang bekerja, sehingga kita harapkan momentum sistem tidak berubah. Setelah peluru ditembakkan ternyata senapan tertolak ke arah belakang.

Apakah benar momentum sistem tidak berubah?

Bukankah momentum peluru mengalami perubahan setelah penembakan?

Memang benar momentum peluru mengalami perubahan yaitu dari nol (sebelum penembakan), menjadi tidak nol (sesudah penembakan)!

Akan tetapi kita harus ingat bahwa senapan juga mengalami perubahan momentum. Momentum senapan setelah penembakan ini sama dengan momentum peluru, tetapi arahnya berlawanan. Akibatnya momentum sistem (momentum senapan + momentum peluru) sama dengan nol, yaitu sama dengan momentum mula-mula. Dengan kata lain *momentum kekal*.



Gambar 5.3 Momentum kekal pada tumbukan

Perhatikan Gambar 5.3 di samping. Di sini dua buah bola yang masing-masing bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  bergerak dengan kecepatan  $v_1$  dan  $v_2$  (gambar (a)).

Kemudian kedua benda bertumbukan (gambar (b)) dan setelah bertumbukan kecepatan masing-masing benda menjadi  $v'_1$  dan  $v'_2$ . Karena tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem tersebut, maka momentum sistem kekal, artinya momentum sebelum dan sesudah tumbukan sama.

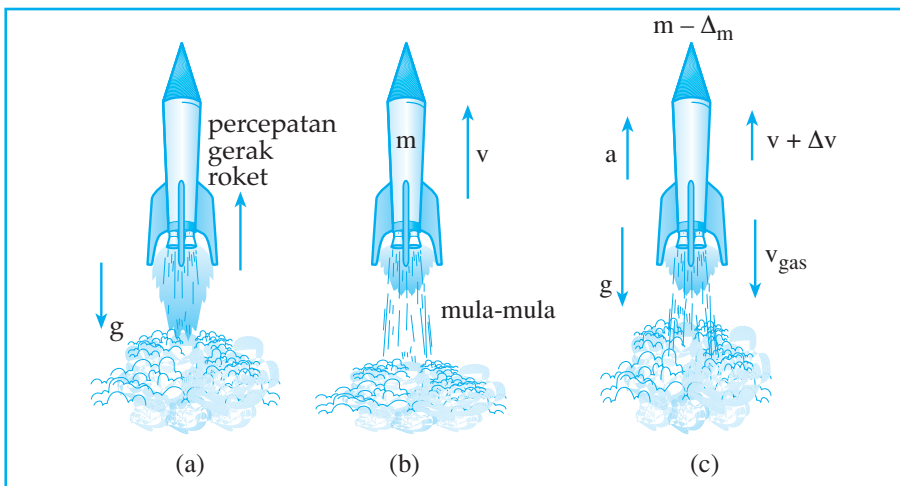
p sebelum tumbukan = p sesudah tumbukan

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Persamaan tersebut dinamakan Hukum Kekekalan Momentum yang menyatakan:

"Jika tidak ada gaya luar, maka momentum sistem sebelum dan sesudah tumbukan kekal".

## Roket



Gambar 5.4 Momentum kekal pada roket

Setelah roket dijalankan maka pada roket akan didapat percepatan.

Percepatan yang diperoleh roket ini mirip dengan percepatan yang diterima oleh senapan setelah menembakkan pelurunya.

Percepatan roket diperoleh dari tolakan gas yang disemburkan roket itu. Tiap molekul gas dapat dianggap sebagai suatu peluru kecil yang ditembakkan roket. Dalam sistem ini momentum total roket dan momentum gas senantiasa sama selama tidak ada gaya luar (diabaikan). Jika gaya gravitasi yang bertindak sebagai gaya luar tidak diabaikan, ia akan mengurangi momentum roket.

Misalkan mula-mula kecepatan roket  $v$  dan massa roket  $m$ , anggap roket menyemburkan gas sejumlah  $\Delta m$ , sehingga kecepatan bertambah menjadi  $v + \Delta v$ . Kecepatan semburan gas anggap sebesar  $v_g$  (*Catatan:* kecepatan roket dan kecepatan gas diukur relatif terhadap suatu acuan, misalnya bumi).

Momentum mula-mula roket:  $mv$

Momentum akhir roket:  $(m - \Delta m) (v + \Delta v)$

Momentum gas:  $-\Delta m v_g$

Jika gravitasi diabaikan kita dapat menghitung besarnya pertambahan kecepatan  $\Delta v$  dengan kekekalan momentum.

$$p_{awal} = p_{akhir}$$

$$mv = (m - \Delta m) (v + \Delta v) - \Delta m v_g$$

$$mv = mv - \Delta m \cdot v + m \cdot \Delta v - \Delta m \cdot \Delta v - \Delta m v_g$$

$$0 = -\Delta m \cdot v + m \cdot \Delta v - \Delta m v_g$$

$$\Delta v = \frac{\Delta m (v + v_g)}{m}$$

*Catatan:*

$\Delta m \cdot \Delta v$  diabaikan karena kecil dibandingkan dengan suku yang lain ( $\Delta m$  saja sudah kecil apalagi jika dikalikan dengan  $\Delta v$  tentu lebih kecil lagi bukan?)

Percepatan roket dapat dihitung sebagai berikut: 
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v + v_g}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta m}{\Delta t}$  sering disebut laju semburan gas (banyaknya semburan gas tiap detik).  $v + v_g$  adalah sama dengan kecepatan roket relatif terhadap gas dan sering ditulis  $v_r$  sehingga persamaan percepatan rata-rata roket adalah:

$$a = \frac{v_r}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Jika medan gravitasi tidak diabaikan, medan gravitasi akan memberikan percepatan ke bawah sehingga percepatan roket (atau sering disebut dengan percepatan lontar) menjadi:

$$a = \frac{v_r}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} - g \dots\dots\dots (1)$$

### Contoh Soal 5.2

Sebuah roket menembakkan bahan bakar dengan laju 14.000 kg tiap detik. Hitung percepatan roket ketika kecepatannya 2000 m/s relatif terhadap gas dan massa roket ketika itu adalah 1000 ton. Jika:

- medan gravitasi diabaikan.
- medan gravitasi tidak diabaikan (besarnya percepatan akibat gravitasi ditempat itu  $g = 5 \text{ m/s}^2$ )

*Penyelesaian*

Percepatan roket dihitung dengan rumus (1).  $\frac{\Delta m}{\Delta t}$  adalah laju penembakan bahan bakar yaitu 14.000 kg/s.

Diketahui:  $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 14.000 \text{ kg/s}$

$$v_r = 2.000 \text{ m/s}$$

$$m = 1.000 \text{ ton} = 1 \times 10^6 \text{ kg}$$

Ditanya: a?

Jawab:

- Tanpa gravitasi  $g = 0$

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_r}{m} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} - g \\ &= \frac{2000}{1 \times 10^6} \times 14.000 - 0 \\ &= 28 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

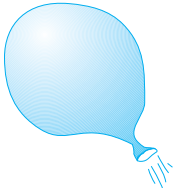
- Medan gravitasi tidak diabaikan  $g = 5 \text{ m/s}^2$ . Percepatan roket dapat dihitung dari hasil a dikurangi dengan percepatan akibat gravitasi ini.

$$\begin{aligned} a &= a \text{ (pada soal a)} - g \\ &= 28 - 5 \\ &= 23 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



## Kegiatan 5.2

Diskusikan bersama kelompok Anda pertanyaan di bawah ini.

1.  Jika sebuah balon karet setelah ditiup kemudian dilepaskan sehingga balon bergerak selama balon menyemburkan udara, mengapa kecepatan balon semakin cepat?

*Balon karet yang sudah ditiup*

2. Mengapa pesawat angkasa yang menggunakan mesin jet tidak dapat bergerak di ruang hampa udara?
3. Mengapa pesawat angkasa yang menggunakan mesin roket dapat bergerak di ruang hampa udara?
4. Mengapa pesawat angkasa yang menggunakan mesin roket lebih cepat bergerak di ruang hampa udara dibanding bergerak di udara?

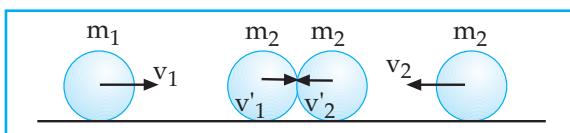
## Uji Pemahaman 5.1

**Kerjakan soal berikut!**

1. Sebuah benda dengan massa 0,4 kg yang mula-mula bergerak dengan kecepatan 20 m/s dihentikan oleh gaya konstan sebesar 50 N dalam waktu  $\Delta t$ .
  - a. Berapakah besar impuls gaya tersebut?
  - b. Berapakah besar  $\Delta t$ ?
2. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan 4 m/s sehingga mempunyai momentum 1 kg m/s. Hitunglah massa benda tersebut!

## C. TUMBUKAN

Tumbukan antara kedua benda yang kita bahas adalah tumbukan sentral, yaitu tumbukan antara kedua benda dimana pada saat terjadi tumbukan kecepatan masing-masing benda menuju ke pusat benda masing-masing.



*Gambar 5.5 Tumbukan sentral*

Macam tumbukan yang kita bahas ada 3 macam, yaitu:

1. tumbukan lenting sempurna,
2. tumbukan lenting sebagian, dan
3. tumbukan tidak lenting sama sekali.

## 1. Tumbukan Lenting Sempurna

Pada tumbukan lenting sempurna tidak terdapat kehilangan energi, sehingga pada tumbukan lenting sempurna:

- berlaku hukum kekekalan energi kinetik

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1(v_1')^2 + \frac{1}{2}m_2(v_2')^2$$

- berlaku hukum kekekalan momentum

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

- koefisien restitusi:  $e = 1$

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$$

## 2. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian terdapat kehilangan energi.

Pada tumbukan lenting sebagian didapat:

- berlaku hukum kekekalan momentum
- koefisien restitusi:  $0 < e < 1$

## 3. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, setelah tumbukan kedua benda menjadi satu dan bergerak bersama-sama ( $v_1' = v_2' = v'$ ) sehingga pada tumbukan tidak lenting sama sekali:

- berlaku hukum kekekalan momentum

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$$

- koefisien restitusi:  $e = 0$

### Contoh Soal 5.3

1. Bola A dan bola B bergerak di atas bidang datar segaris kerja. Bola A dengan massa 2 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan 4 m/s dan bola B dengan massa 1 kg bergerak ke kiri dengan kecepatan 6 m/s. Kedua bola bertumbukan sentral. Hitunglah kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan jika tumbukan kedua bola:
  - a. tidak lenting sama sekali
  - b. lenting sebagian dengan  $e = 0,8$
  - c. lenting sempurna

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_A = 2 \text{ kg}$  ;  $v_A = 4 \text{ m/s}$  (ke kanan)

$$m_B = 1 \text{ kg} ; v_B = -6 \text{ m/s} \text{ (ke kiri)}$$

Ditanya:  $v_A'$  dan  $v_B'$  jika

a.  $e = 0$                       b.  $e = 0,8$                       c.  $e = 1$

Jawab :

a.  $v_A' = v_B' = v'$

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v'$$

$$8 - 6 = v'$$

$$2 = 6v'$$

$$v' = \frac{1}{3} \text{ m/s}$$

$$\text{Jadi, } v_A' = v_B' = \frac{1}{3} \text{ m/s}$$

b. 
$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

$$0,8 = -\frac{v_A' - v_B'}{4 + 6}$$

$$-8 = v_A' - v_B'$$

$$v_A' = v_B' - 8$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

$$8 - 6 = 2(v_B' - 8) + v_B'$$

$$2 = 2v_B' - 16 + v_B'$$

$$18 = 3v_B'$$

$$v_B' = 6 \text{ m/s}$$

$$v_A' = v_B' - 8$$

$$v_A' = 6 - 8$$

$$v_A' = -2 \text{ m/s}$$

c. 
$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

$$1 = -\frac{v_A' - v_B'}{4 + 6}$$

$$-10 = v_A' - v_B'$$

$$v_A' = v_B' - 10$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

$$8 - 6 = 2(v_B' - 10) + v_B'$$

$$2 = 2v_B' - 20 + v_B'$$

$$22 = 3v_B'$$

$$v_B' = 7,3 \text{ m/s}$$

$$v_A' = v_B' - 10$$

$$v_A' = 7,3 - 10$$

$$v_A' = -2,7 \text{ m/s}$$

2. Sebuah peluru dengan massa 20 gram ditembakkan dengan senapan yang bermassa 2 kg. Jika kecepatan peluru saat meninggalkan moncong senapan = 10 m/s, maka berapakah kecepatan senapan setelah menembakkan peluru?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_P = 20 \text{ gram} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$  ;  $m_S = 2 \text{ kg}$

$$v_P = 0 ; v_S = 0 ; v_P' = 10 \text{ m/s}$$

Ditanya:  $v_S'$ ?

Jawab :

$$\begin{aligned}m_P v_P + m_S v_S &= m_P v_P' + m_S v_S' \\0 + 0 &= 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10 + 2 v_S' \\-2v_S' &= 2 \cdot 10^{-1} \\v_S' &= -10^{-1} \text{ m/s}\end{aligned}$$

Tanda (-) menyatakan arah gerak senapan ke belakang

3. Sebuah gaya konstan bekerja pada benda yang mula-mula diam sehingga dalam waktu 0,1 sekon kecepatan benda menjadi 4 m/s. Jika massa benda 500 gram, berapakah besar gaya tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $v_1 = 0$  ;  $\Delta t = 0,1$  sekon

$$v_2 = 4 \text{ m/s} ; m = 500 \text{ gram} = 0,5 \text{ kg}$$

Ditanya:  $F$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned}F \cdot \Delta t &= mv_2 - mv_1 \\F \cdot 0,1 &= 2 - 0 \\F &= 20 \text{ N}\end{aligned}$$

4. Seseorang dengan massa 50 kg naik perahu yang bermassa 200 kg yang bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Tiba-tiba orang tersebut meloncat dari perahu dengan kecepatan 2 m/s searah dengan arah gerak perahu. Berapakah kecepatan perahu sesaat orang meloncat?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m_o = 50 \text{ kg}$  ;  $v_o = v_P = 10 \text{ m/s}$

$$m_P = 200 \text{ kg} ; v_o' = 2 \text{ m/s}$$

Ditanya:  $v_P' = \dots$ ?

Jawab :

$$\begin{aligned}m_o v_o + m_P v_P &= m_o v_o' + m_P v_P' \\500 + 2000 &= 100 + 200v_P' \\200v_P' &= 2400 \\v_P' &= 12 \text{ m/s}\end{aligned}$$

## Uji Pemahaman 5.2

### Kerjakan soal berikut!

1. Benda A bergerak ke kanan dengan kecepatan 10 m/s dan benda B bergerak ke kiri dengan kecepatan 8 m/s. Massa benda A = 2 kg dan massa benda B = 1 kg. Kedua benda kemudian bertumbukan sentral. Hitunglah kecepatan benda A dan B setelah tumbukan jika tumbukan kedua benda:
  - a. lenting sempurna
  - b. tidak lenting sama sekali
  - c. lenting sebagian dengan nilai  $e = 0,4$ !
2. Sebuah bola dengan massa 40 gram dijatuhkan bebas dari ketinggian 10 m dari atas tanah. Tentukan momentum bola pada saat ketinggian bola dari tanah 2 m ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

## Rangkuman

- Momentum:  $P = m \cdot v$
- Impuls:  $I = F \cdot \Delta t$   
 $I = \Delta p$
- Hukum kekekalan momentum:  
 $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$
- Tumbukan:
  - a. Lenting sempurna:  $e = 1$
  - b. Lenting sebagian:  $0 < e < 1$
  - c. Tidak lenting sama sekali:  $e = 0$

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$$

## KATA KUNCI

- Impuls
- Momentum
- Momentum kekal
- Tumbukan

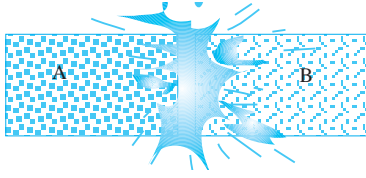


## KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Dimensi dari momentum adalah ....  
a.  $MLT^{-1}$                       d.  $ML^{-1}T$   
b.  $MLT$                         e.  $ML^2T^1$   
c.  $MLT^2$
2. Sebuah bola bermassa  $m$  menumbuk tegak lurus dengan kecepatan yang besarnya  $v$ . Bila bola dipantulkan dengan kecepatan yang besarnya  $v$  pula, maka besar impuls gaya yang dilakukan oleh dinding pada bola ....  
a. Nol                              d.  $4mv$   
b.  $\frac{1}{2}mv^2$                       e.  $2mv$   
c.  $mv$
3. Yang dapat mengubah momentum suatu benda adalah ....  
a. gaya                              d. usaha  
b. impuls                              e. tekanan  
c. daya
4. Sebuah benda bermassa  $m$  bergerak dengan kecepatan tetap  $= v$ , maka impuls dari benda tersebut adalah ....  
a. nol                                d.  $mv^2$   
b.  $mv$                               e.  $\frac{1}{2}mv^2$   
c.  $2mv$
5. Jika kecepatan gerak benda dibuat menjadi 4 kali kecepatan mula-mula, maka momentum benda menjadi ... momentum mula-mula.  
a. 2 kali                              d. 8 kali  
b. 4 kali                              e. 1 kali  
c. 16 kali
6. Sebuah bola bermassa 200 gram bergerak dengan kecepatan 12 m/s dipukul dengan kayu sehingga berbalik arah dengan kecepatan 18 m/s. Gaya pukulan bekerja pada bola selama 0,01 sekon. Besar gaya rata-rata  $F$  yang diterima bola sebesar ....  
a. 3000 N                              d. 6000 N  
b. 600 N                              e. 900 N  
c. 3600 N
7. Sebuah impuls gaya sebesar 50 NS bekerja pada sebuah benda selama 0,01 sekon. Besar gaya tersebut adalah ....  
a. 5000 N  
b. 500 N  
c. 50 N  
d. 5 N  
e. 0,5 N
8. Sebuah balok yang massanya 1,5 kg terletak diam di atas bidang horizontal. Koefisien gesekan balok pada bidang horizontal 0,2. Peluru massanya 10 gram ditembakkan horizontal mengenai balok tersebut dan diam di dalam balok. Balok bergeser sejauh 1 m jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , kecepatan peluru menumbuk balok adalah ....  
a. 152 m/s  
b. 200 m/s  
c. 212 m/s  
d. 250 m/s  
e. 302 m/s

9. Dua buah massa melekat satu sama lain seperti pada gambar



Di antara kedua benda itu terjadi ledakan sehingga massa A terpental dengan kecepatan 10 m/s. Jika massa B terpental dengan kecepatan 40 m/s, maka perbandingan massa A dan B adalah ....

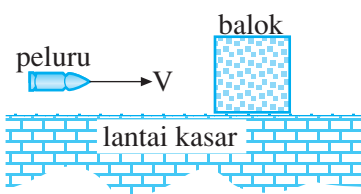
- 1: 2
- 2: 1
- 4: 1
- 1: 4
- 2: 3

10. Sebuah benda dilempar ke atas pada bidang miring licin dengan kecepatan awal 5 m/s. Sudut kemiringan bidang terhadap horizontal adalah  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka jika massa benda 2 kg momentum benda setelah 1 detik adalah ....

- Nol
- 20 kg m/s
- 5 kg m/s
- 1 kg m/s
- 2 kg m/s

### B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

- Sebuah peluru dengan massa 10 gram bergerak mendatar dengan kecepatan 25 m/s mengenai sebuah balok dengan massa 1 kg yang digantung dengan tali. Jika peluru mengeram dalam balok, tentukan tinggi balok bersama peluru berayun dari titik setimbangnya!
- Sebuah benda bergerak dengan energi kinetik = 10 joule dan momentum = 10 kg m/s. Hitunglah kecepatan gerak benda tersebut!
- Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan 50 m/s. Jika massa peluru 25 gram, hitunglah momentum peluru tersebut!
- Bola pingpong menggelinding pada lantai licin dengan kecepatan 2 m/s massa bola pingpong 20 gram. Jika kemudian bola pingpong menumbuk tembok secara lenting sempurna, hitunglah:
  - kecepatan bola pingpong setelah menumbuk tembok
  - impuls dari bola pingpong!



Gambar di samping melukiskan sebuah balok yang bermassa 5 kg terletak di atas lantai kasar dengan koefisien gesek = 0,4. Sebuah peluru dengan massa 50 gram bergerak dengan kecepatan 80 m/s kemudian mengenai balok. Tentukan

berapakah jauh balok dapat bergerak jika:

- peluru dipantalkan kembali oleh balok dengan kecepatan 10 m/s
- peluru bersarang dalam balok



## ULANGAN SEMESTER I

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Sebuah benda bergerak pada bidang XOY dengan kecepatan  $v = 5i + (2t - 4)j$ . Satuan dalam SI. Pada saat  $t = 0$  mempunyai posisi  $r = 0$ . Besar kecepatan rata-rata dalam 10 sekon pertama adalah ....  
a. 19 m/s      d. 221 m/s  
b. 21 m/s      e. 281 m/s  
c. 61 m/s
2. Posisi sudut dari sebuah titik partikel yang melakukan gerak rotasi dinyatakan dengan persamaan  $\theta = 0,2 + 10t$  (satuan dalam SI). Kecepatan sudut titik partikel pada saat 5 sekon adalah ....  
a. 0,2 rad/s      d. 1 rad/s  
b. 10 rad/s      e. 5 rad/s  
c. 50 rad/s
3. Sebuah partikel melakukan gerak rotasi dengan jari-jari 0,5 meter dan posisi sudut yang ditempuh dengan persamaan  $\theta = (2 + 0,5t)$  radian. Jarak yang ditempuh oleh partikel setelah 2 sekon adalah ....  
a. 0,5 m      d. 2 m  
b. 1 m      e. 2,5 m  
c. 1,5 m
4. Sebuah benda dilontarkan dengan lintasan berbentuk parabola dan mencapai titik tertinggi 45 m di atas tanah maka waktu yang diperlukan oleh benda selama di udara adalah ....  
a. 4 sekon      d. 8 sekon  
b. 5 sekon      e. 12 sekon  
c. 6 sekon
5. Dari atas tebing pada ketinggian 45 meter, ditembakkan sebuah peluru dengan arah mendatar dan dengan kecepatan awal  $40 \text{ ms}^{-1}$ . ( $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ). Besar kecepatan peluru saat menyentuh tanah dasar tebing adalah ....  
a.  $12 \text{ ms}^{-1}$       d.  $42 \text{ ms}^{-1}$   
b.  $28 \text{ ms}^{-1}$       e.  $50 \text{ ms}^{-1}$   
c.  $35 \text{ ms}^{-1}$
6. Sebuah benda dengan massa 0,5 kg dilempar pada bidang miring kasar dengan  $\mu_k = 0,4$  dan sudut kemiringan bidang  $37^\circ$ . Jika kecepatan awal pelepasan benda =  $18,4 \text{ m/s}$  maka benda akan berhenti setelah menempuh jarak ....  
a. 18,4 m      d. 30,4 m  
b. 36,8 m      e. 8,4 m  
c. 28,6 m
7. Koefisien gesek statis antara sebuah almari kayu dengan bak mobil pick up = 0,7. Percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki mobil pick up agar almari tetap tidak bergerak terhadap bak mobil adalah ....  
a. nol      d.  $7,5 \text{ m/s}^2$   
b.  $2,5 \text{ m/s}^2$       e.  $10 \text{ m/s}^2$   
c.  $0,75 \text{ m/s}^2$



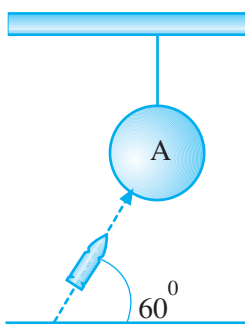
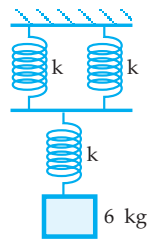
8. Suatu planet X mempunyai massa  $a$  kali massa bumi dan jari-jarinya  $= b$  kali jari-jari bumi. Berat benda di planet tersebut di bandingkan dengan berat tersebut di bumi adalah ....
- $ab$
  - $a^2$
  - $\frac{a}{b^2}$
  - $\frac{a}{b}$
  - $\frac{b^2}{a}$
9. Benda dengan massa  $4\text{ m}$  dan  $m$  terpisah pada jarak  $R$ . Jika benda dengan massa  $4m$  menarik benda yang bermassa  $m$  dengan gaya  $F$  maka benda yang bermassa  $m$  akan menarik benda yang bermassa  $4\text{ m}$  dengan gaya sebesar ....
- $4F$
  - $\frac{1}{4}F$
  - $F$
  - $2F$
  - $3R$
10. Percepatan gravitasi di permukaan bumi  $= 10\text{ m/s}^2$ . Percepatan gravitasi di titik B  $= 2,5\text{ m/s}^2$ . Jika  $R$  adalah jari-jari bumi maka ketinggian titik B dari permukaan bumi adalah ....
- $2R$
  - $R$
  - $\frac{1}{2}R$
  - $\frac{1}{4}R$
  - $3R$
11. Dimensi dari konstanta pegas adalah ....
- $MLT^{-2}$
  - $MLT^{-1}$
  - $MT^{-1}$
  - $MT^{-2}$
  - $LT^{-2}$
12. Sebuah pegas menggantung dalam keadaan normal panjangnya  $20\text{ cm}$ . Bila pada ujung pegas digantungkan sebuah benda yang mempunyai massa  $50\text{ gram}$ , panjangnya menjadi  $25\text{ cm}$ . Kemudian benda tersebut disimpangkan sejauh  $4\text{ cm}$  maka energi potensial elastik sistem adalah ....
- $0,008\text{ J}$
  - $0,016\text{ J}$
  - $0,2\text{ J}$
  - $0,4\text{ J}$
  - $2\text{ J}$
13. Sebuah bola dengan massa  $20\text{ gram}$  digantung pada sepotong per (pegas). Kemudian bola ditarik ke bawah dari kedudukan setimbang lalu dilepaskan, ternyata terjadi getaran tunggal dengan frekuensi  $32\text{ Hz}$ . Jika bola tersebut diganti dengan bola bermassa  $80\text{ gram}$  maka frekuensi yang akan terjadi adalah ..... (dalam hertz)
- $64$
  - $32$
  - $16$
  - $8$
  - $4$
14. Sebuah pegas yang panjangnya  $20\text{ cm}$  digantungkan vertikal, kemudian ujung bawahnya diberi beban  $200\text{ gram}$  sehingga bertambah panjang  $10\text{ cm}$ . Beban ditarik  $5\text{ cm}$  ke bawah kemudian dilepaskan hingga beban bergetar harmonik. Jika  $g = 10\text{ m/s}^2$  maka frekuensi getaran adalah ....
- $0,5\text{ Hz}$
  - $1,6\text{ Hz}$
  - $5\text{ Hz}$
  - $18,8\text{ Hz}$
  - $62,8\text{ Hz}$
15. Kecepatan suatu getaran harmonik sederhana adalah maksimum pada saat ....
- simpangannya maksimum
  - percepatannya maksimum
  - energi potensialnya maksimum
  - energi kinetiknya minimum
  - simpangannya maksimum

16. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 40 m di atas tanah. Bila massa benda 2 kg dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka energi kinetik benda tepat 20 m di atas tanah adalah ....
  - a. 400 J
  - b. 800 J
  - c. 1600 J
  - d. 3200 J
  - e. 1400 J
17. Sebuah benda bermassa 50 gram, berada di ketinggian 50 m dari atas tanah. Benda bergerak hingga kedudukan 10 m di atas tanah. Usaha yang dilakukan gaya berat benda selama gerakan benda tersebut adalah ....
  - a. 200 joule
  - b. 125 joule
  - c. 30 joule
  - d. 20 joule
  - e. 250 joule
18. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas maka semakin ke atas ....
  - a.  $E_p$ -nya dan  $E_k$ -nya tetap
  - b.  $E_p$ -nya bertambah dan  $E_k$ -nya bertambah
  - c.  $E_p$ -nya berkurang dan  $E_k$ -nya bertambah
  - d.  $E_p + E_k =$  berkurang
  - e.  $E_p + E_k =$  berkurang
19. Dua buah benda dengan massa  $m$  dan  $4m$  dijatuhkan bebas dari ketinggian yang sama, yaitu  $h$  meter di atas tanah. Setelah 2 detik, perbandingan energi potensial kedua benda adalah ....
  - a. 1 : 2
  - b. 1 : 4
  - c. 3 : 2
  - d. 3 : 4
  - e. 1 : 3
20. Sebuah benda bergerak dengan energi mekanik 500 J. Pada suatu saat  $E_k = 3 E_p$  maka nilai  $E_k$  dan  $E_p$  saat itu adalah ....
  - a. 125 J dan 375 J
  - b. 100 J dan 400 J
  - c. 375 J dan 125 J
  - d. 400 J dan 100 J
  - e. 350 J dan 150 J
21. Jika pada tumbukan sentral dua benda timbul panas maka pada tumbukan tersebut ....
  - a. berlaku kekekalan momentum
  - b. berlaku hukum kekekalan energi mekanik
  - c. koefisien restitusinya = 1
  - d. koefisien restitusinya = 0
  - e. koefisien restitusinya < 1
22. Sebuah bola A dengan massa  $m$  bergerak dengan kecepatan  $v$ . Bola tersebut menumbuk sentral bola B dengan massa  $m$  yang diam. Jika bola A setelah menumbuk bola B bola A diam maka kecepatan bola B setelah ditumbuk oleh bola A adalah ....
  - a. Nol
  - b.  $\frac{1}{4}v$
  - c.  $\frac{1}{2}v$
  - d.  $v$
  - e.  $2v$
23. Jika benda bertumbukan selalu berlaku hukum ....
  - a. kekekalan momentum dan energi mekanik
  - b. kekekalan momentum
  - c. kekekalan energi mekanik
  - d. kekekalan momentum dan energi potensial
  - e. kekekalan momentum dan energi kinetik

24. Sebuah bola tenis massanya 100 gram ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) dilepaskan dari ketinggian 4 m di atas lantai. Setelah pemantulan yang pertama tinggi yang dapat dicapai bola  $\frac{2}{3}$  m. Tinggi yang dicapai berikutnya adalah ....
- $\frac{1}{3}$  m
  - $\frac{1}{6}$  m
  - $\frac{1}{9}$  m
  - $\frac{1}{12}$  m
  - $\frac{1}{18}$  m
25. Sebuah benda dengan massa 100 gram dilempar vertikal ke bawah dengan kecepatan 1 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka momentum benda setelah 2 detik adalah ....
- 21 kg m/s
  - 2,1 kg m/s
  - 12 kg m/s
  - 1,2 kg m/s
  - 2 kg m/s

### B. Jawablah soal-soal di bawah ini!

- Seorang berada di atas menara yang tingginya 20 m di atas permukaan tanah. Orang tersebut kemudian melempar sebuah batu dengan kecepatan awal 30 m/s, dengan arah condong ke atas dengan sudut elevasi  $\alpha$  ( $\sin \alpha = 0,6$ ) jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah ketinggian maksimum yang dicapai bola pada pelemparan tersebut!
- Sebuah benda dengan massa  $m^3$  berada dalam medan gravitasi benda dengan massa  $m$ . Kuat medan gravitasi pada titik dimana benda  $m'$  berada =  $8,4 \text{ m/s}^2$  dan benda  $m'$  mendapat gaya gravitasi sebesar 16,8 N. Berapa besar benda  $m'$ ?
- Pegas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  yang identik akan memanjang 5 cm bila digantungi beban 1,5 kg secara terpisah. Jika ketiga pegas dirangkai seperti gambar di samping dan digantungi 6 kg maka hitunglah:
  - pertambahan panjang masing-masing pegas
  - pertambahan panjang keseluruhan sistem pegas!
- Seseorang yang bermassa 40 kg sedang melakukan terjun bebas dari ketinggian 3 meter dari permukaan air. Berapa kecepatan orang tersebut saat menyentuh air? Bila dapat masuk ke dalam air sedalam 1 meter, berapa gaya penahan rata-rata dari air terhadap orang tersebut?

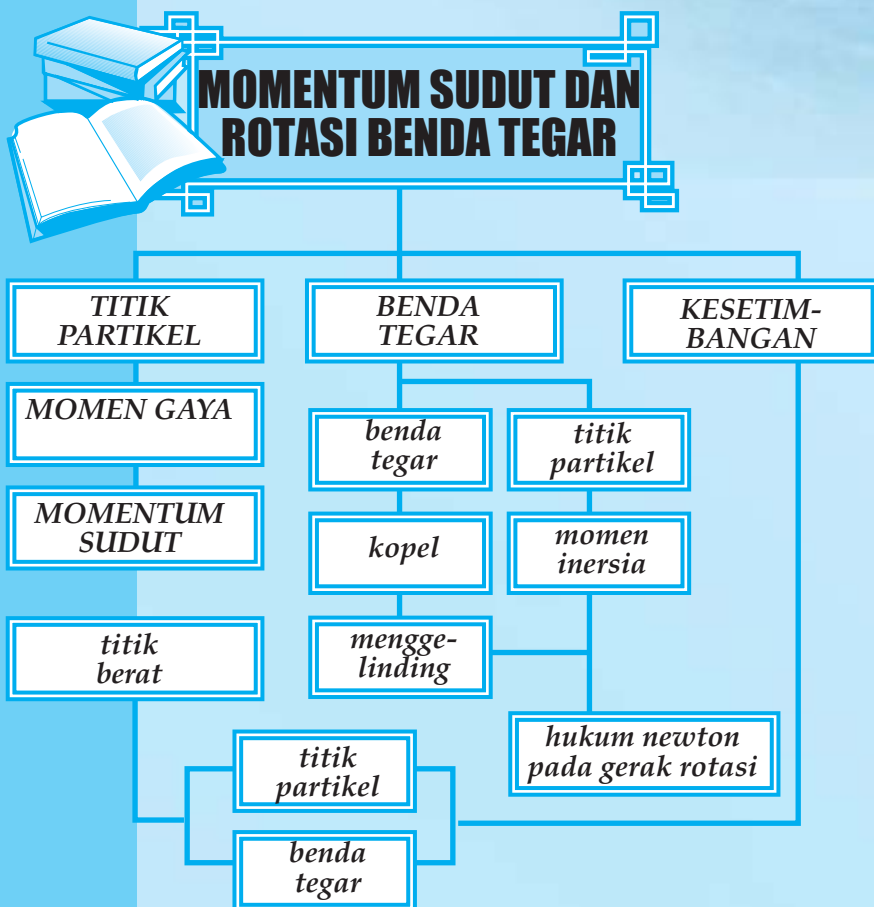


Gambar di samping melukiskan bola besi digantungi dengan tali dan setimbang di titik A. Massa bola besi 200 gram. Sebuah peluru dengan massa 10 gram ditembakkan dengan kecepatan 100 m/s dengan sudut elevasi  $60^\circ$ . Pada ketinggian maksimum peluru menumbuk bola besi dengan  $e = \frac{1}{2}$ . Berapa tinggi bola besi naik dari titik setimbangnya?

# 6

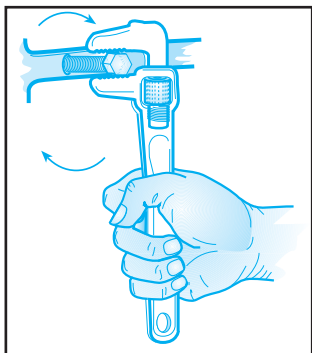
## MOMENTUM SUDUT DAN ROTASI BENDA TEGAR

Setelah mempelajari materi "Momen Sudut dan Rotasi Benda Tegar" diharapkan Anda dapat merumuskan pengaruh momen gaya sebuah benda dalam kaitannya dengan gerak rotasi, memahami analogi hukum II Newton tentang gerak translasi dan gerak rotasi serta menggunakan konsep momen inersia untuk berbagai bentuk benda tegar. Selain itu diharapkan Anda mampu merumuskan hukum kekekalan momentum sudut pada gerak rotasi serta menerapkan konsep titik berat benda dalam kehidupan sehari-hari.



A. MOMEN GAYA DAN KOPEL

1. Momen Gaya



Gambar 6.1 Kunci Inggris

Gambar 6.1 menggambarkan seseorang sedang mengencangkan sebuah baut pada tempatnya.

Agar orang tersebut dapat dengan mudah mengencangkan baut tersebut dapat melakukan dua cara yaitu

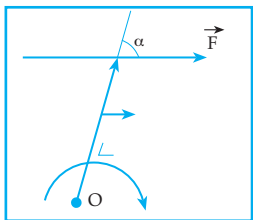
- 1. memberi gaya yang besar
- 2. memberi lengan gaya yang panjang.

Atau dengan kata lain, orang tersebut harus memberi momen gaya yang besar.

Apakah yang dimaksud momen gaya?

Momen gaya merupakan besaran yang dapat menyebabkan sebuah titik partikel berputar (berotasi).

Momen gaya dilambangkan dengan "τ"



Gambar 6.2  
Momen gaya F

Gambar 6.2 menyatakan sebuah gaya F sedang mengadakan momen gaya terhadap titik O dengan lengan gaya L, sehingga titik O berputar dengan arah putar searah putaran jarum jam. Momen gaya F terhadap titik O didefinisikan sebagai hasil kali silang antara lengan gaya dan gaya F, atau

$$\vec{\tau} = \vec{L} \times \vec{F}$$

Besar momen gaya:

$$\tau = L \cdot \sin \alpha \cdot F$$

 atau 

$$\tau = F \cdot L \cdot \sin \alpha$$

F = besar gaya (N)

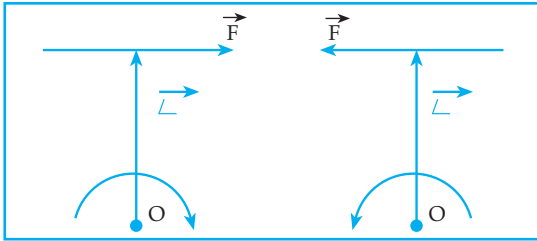
L = panjang lengan gaya (m)

τ = besar momen gaya (N.m)

α = sudut antara arah lengan gaya dan arah gaya

Momen gaya merupakan besaran vektor

Momen gaya ada dua macam, yaitu momen gaya positif dan momen gaya negatif.



Gambar 6.3 Macam-macam momen gaya

Jika pada sebuah partikel bekerja beberapa buah momen gaya sebidang maka momen gaya resultannya merupakan jumlah aljabar momen-momen gaya tersebut.

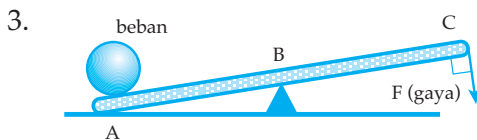
$$\tau_R = \Sigma \tau$$

Pada materi pokok terdahulu, Anda telah mempelajari gerak melingkar beraturan (GMB) dan gerak melingkar berubah beraturan (GMBB), harap dipahami kembali lagi beberapa ketentuan dan beberapa persamaan pada GMB maupun GMBB.

### Kegiatan 6.1

Diskusikan hal-hal berikut bersama kelompok Anda!

1. Sebutkan beberapa kejadian sehari-hari yang bekerja berdasarkan momen gaya?
2. Bilamana momen gaya bertanda positif dan bilamana momen gaya bertanda negatif?



AB = lengan beban

BC = lengan kuasa

Gambar di atas adalah usaha mengangkat beban dengan pengungkit AC. Agar dengan mudah kita mengangkat beban maka diperlukan lengan kuasa yang pendek atau yang panjang. Jelaskan!

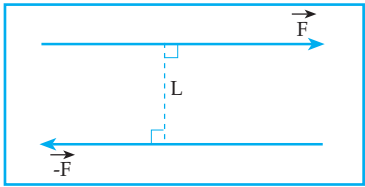
4. Apakah yang dimaksud gerak melingkar beraturan dan tuliskan persamaan-persamaan pada GBM tersebut!
5. Apakah yang dimaksud gerak melingkar berubah beraturan dan tuliskan persamaan-persamaan pada GMBB tersebut!

2. Kopel

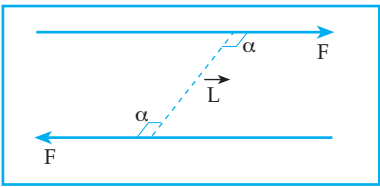
Seorang sopir bus selama menjalankan busnya sering memberikan kopel pada stir bus agar jalannya bus dapat teratur.

Apakah yang dimaksud kopel?

Kopel adalah pasangan dua buah gaya yang sama besar, sejajar dan berlawanan arah. Kopel penyebab sebuah benda berotasi.



Gambar 6.4a Sebuah Kopel



Gambar 6.4b Kopel merupakan besaran vektor

Momen kopel merupakan hasil kali vektor antara vektor gaya dan vektor lengan gaya.

$$\vec{M} = \vec{L} \times \vec{F}$$

Sehingga besar momen gaya dapat dinyatakan:

$$M = L \cdot F \sin \alpha$$

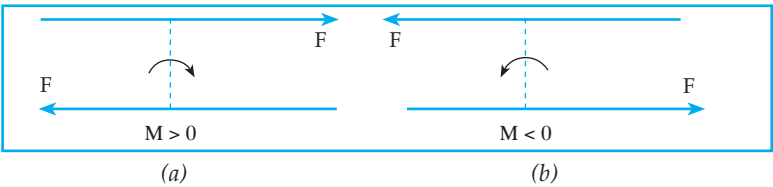
$M$  = momen kopel (N . m)

$L$  = lengan gaya (m)

$F$  = gaya (N)

$\alpha$  = sudut antara lengan gaya dan gaya

a. Macam momen kopel ada dua, yaitu kopel positif dan kopel negatif.



Gambar 6.5 Momen kopel positif dan negatif

b. Jika pada sebuah benda bekerja kopel-kopel sebidang momen kopelnya dapat dinyatakan:

$$M_R = \Sigma M$$

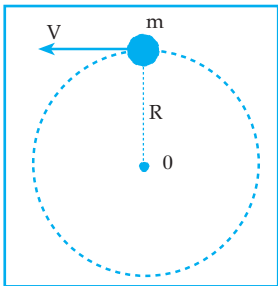
c. Sifat-sifat kopel.

- 1) Sebuah kopel dapat diganti dengan kopel yang lain yang arah dan besarnya sama.
- 2) Jumlah momen kopel dari kopel-kopel yang sebidang sama dengan jumlah aljabar momen kopel dari kopel itu.

- d. Resultan sebuah gaya dan sebuah kopel adalah gaya yang besarnya sama dengan gaya mula-mula dan letaknya bergeser sejauh:

$$d = \frac{M}{F}$$

### 3. Momentum Sudut



Gambar 6.6 Gerak rotasi

Gambar 6.6 melukiskan sebuah titik partikel yang bermassa  $m$  sedang melakukan gerak rotasi dengan jari-jari lintasan  $R$  dan dengan kecepatan  $v$ . Arah kecepatan sebuah titik partikel yang melakukan gerak rotasi pada suatu titik merupakan arah garis singgung di titik tersebut. Selama titik partikel melakukan gerak rotasi, karena mempunyai massa dan kecepatan maka titik partikel tersebut mempunyai momentum. Momentum yang dimiliki oleh titik partikel yang melakukan gerak rotasi disebut dengan momentum sudut (momentum angular), yang diberi lambang dengan  $L$ .

Besar dari momentum sudut dinyatakan dengan persamaan:

$$L = m \cdot v \cdot R$$

- $m$  = massa (kg)
- $v$  = kecepatan (m/s)
- $R$  = jari-jari lintasan (m)
- $L$  = momentum sudut (kg m<sup>2</sup>/s)

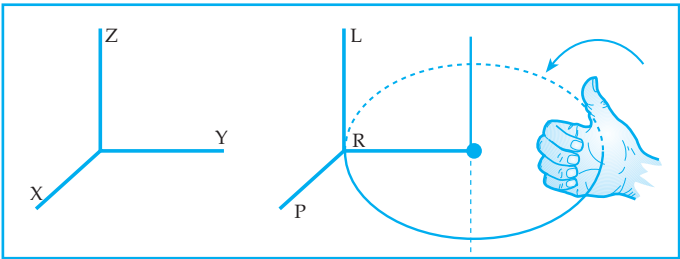
Dari persamaan  $L = m \cdot v \cdot R$  didapat  $m \cdot v = p$  (momentum linier) sehingga didapat: 

$L = p \cdot R$

- $p$  = momentum partikel
- $R$  = vektor posisi partikel

Arah momentum sudut dapat dicari dengan aturan tangan kanan yaitu ketika kita mengepalkan keempat jari kita dari arah  $R$  ke arah  $P$  maka arah ibu jari menunjukkan arah momentum sudut  $L$ .

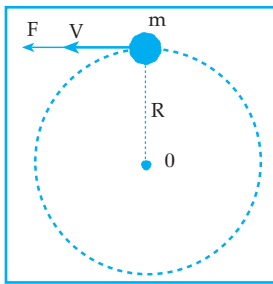
Lihat gambar 6.7 di bawah ini:



Gambar 6.7 Arah momentum sudut



### a. Impuls Sudut



Gambar 6.8  
Gerak melingkar berubah  
beraturan

Gambar 6.8 melukiskan sebuah titik partikel dengan massa  $m$  melakukan gerak melingkar berubah beraturan karena pengaruh gaya  $F$ .

Berdasarkan hukum II Newton:

$$F = m \cdot a$$

$$F = m \cdot \alpha \cdot R$$

$$F \cdot R = m \cdot \alpha \cdot R^2$$

Besaran  $mR^2$  disebut momen inersia atau momen kelembaman dari partikel bermassa  $m$  yang melakukan gerak rotasi dengan jari-jari  $R$ , yang diberi lambang  $I$ , dan  $F \cdot R$  adalah momen gaya  $F$  terhadap titik  $O$ , sehingga diperoleh persamaan:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Pada gerak melingkar berubah beraturan diperoleh:

$$\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{\Delta t} \text{ sehingga di dapat } \tau = I \left( \frac{\omega_t - \omega_0}{\Delta t} \right)$$

$$\tau \cdot \Delta t = I \cdot \omega_t - I \cdot \omega_0$$

Keterangan:

$\tau \cdot \Delta t$  = impuls sudut

$I \cdot \omega_t$  = momentum sudut pada saat  $t$

$I \cdot \omega_0$  = momentum sudut mula-mula

$I \cdot \omega_t - I \cdot \omega_0$  = perubahan momentum sudut

impuls sudut = perubahan momentum sudut

### b. Hukum kekekalan momentum sudut

Pada gerak transisi, selama benda bergerak jika tidak ada gaya luar yang bekerja maka momentum linier total sistem tersebut adalah konstan ( $\Sigma m \cdot v = \text{konstan}$ ).

Demikian juga jika pada gerak rotasi, jika selama benda bergerak rotasi, resultan torsi yang bekerja pada benda sama dengan nol maka momentum sudut total sistem adalah konstan ( $\Sigma I \cdot \omega = \text{konstan}$ ) atau dapat dinyatakan:

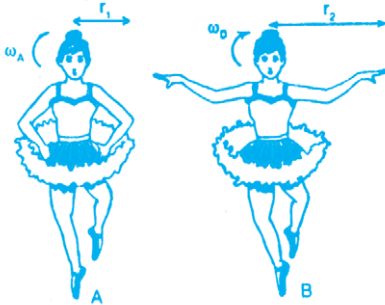
$$I_1 \cdot \omega_1 = I_1' \cdot \omega_1'$$

## Kegiatan 6.2

Diskusikan hal-hal berikut bersama kelompok Anda!

1. Dari persamaan  $L = m \cdot v \cdot R$ , buktikan bahwa  $L = I \cdot \omega$  di mana  $I$  = momen inersia partikel dan  $\omega$  = kecepatan sudut!

2.



Gambar di samping melukiskan seorang penari balet sedang berotasi. Mengapa pada saat kedua tangan penari balet direntangkan (gambar B) kelajuan putar penari semakin kecil? Beri penjelasan!

### Contoh soal 6.1

1. Sebuah titik partikel dengan massa 20 gram melakukan gerak rotasi beraturan dengan jari-jari lintasan 2 m. Jika dalam waktu 5 sekon titik partikel mampu berputar 25 putaran, berapakah momentum sudut dari partikel tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 20 \text{ gram} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

$R = 2 \text{ m}$

$t = 5 \text{ sekon}$

$N = 25 \text{ putaran}$

Ditanya:  $L = \dots?$

Jawab :

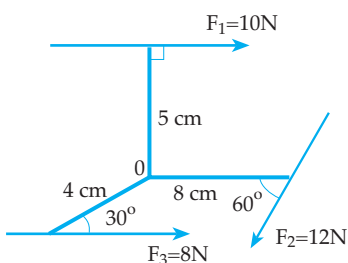
$$f = \frac{N}{t} = \frac{25}{5} = 5 \text{ Hz}$$

$$v = 2\pi \cdot f \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 2 = 20\pi \text{ m/s}$$

$$L = m \cdot v \cdot R$$

$$L = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 20\pi \cdot 2 = 2,512 \text{ kg.m}^2/\text{s}$$

2.



Perhatikan gambar di samping, pada titik O bekerja 3 buah momen gaya sebidang dengan besar dan arah seperti tampak pada gambar.

Tentukan momen gaya resultan dari ketiga momen gaya tersebut terhadap titik O!

*Penyelesaian*

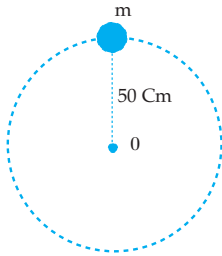
$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$\tau_0 = F_1 \cdot L_1 \sin \alpha_1 + F_2 \cdot L_2 \sin \alpha_2 - F_3 \cdot L_3 \sin \alpha_3$$

$$\tau_0 = 10 \cdot 5 \sin 90^\circ + 12 \cdot 8 \sin 60^\circ - 8 \cdot 4 \sin 30^\circ$$

$$\tau_0 = 50 + 81,6 - 11 = 115,6 \text{ N.cm}$$

3.



Gambar di samping melukiskan sebuah titik partikel dengan massa 10 gram mula-mula melakukan gerak melingkar beraturan dengan jari-jari lintasan 50 cm dan kecepatan sudut 4 rad/s. Kemudian pada titik partikel tersebut bekerja gaya konstan dengan arah tegak lurus jari-jari lintasannya sehingga titik partikel melakukan gerak melingkar beraturan dengan percepatan sudut 2 rad/s<sup>2</sup>. Maka tentukan:

- momen gaya yang bekerja pada titik partikel terhadap titik O
- impuls sudut selama 2 sekon
- besar gaya yang bekerja pada titik partikel!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 10 \text{ gram} = 10^{-2} \text{ kg}$  ;  $R = 50 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

$$\omega_0 = 4 \text{ rad/s} ; \alpha = 2 \text{ rad/s}^2$$

Ditanya:

- $\tau$
- I sudut selama 2 sekon
- F

Jawab :

$$\text{a) } \tau = I \cdot \alpha$$

$$\tau = m \cdot R^2 \cdot \alpha$$

$$\tau = 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot 2$$

$$\tau = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2 \text{ rad/s}^2$$

$$\text{c) } \tau = F \cdot R$$

$$5 \cdot 10^{-3} = F \cdot 5 \cdot 10^{-1}$$

$$F = 10^{-2} \text{ N}$$

$$\text{b) } \omega_t = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

$$\omega_t = 4 + 2 \cdot 2 = 8 \text{ rad/s}$$

$$\text{I sudut} = m\omega_t - m\omega_0$$

$$= 10^{-2} \cdot 8 - 10^{-2} \cdot 4$$

$$= 4 \cdot 10^{-2} \text{ kg rad/s}$$

B. ROTASI BENDA TEGAR

Pada gerak translasi berdasar hukum I Newton, diperoleh pengertian bahwa setiap benda mempunyai sifat lembam, yaitu kecenderungan untuk mempertahankan keadaannya (diam atau bergerak lurus beraturan).

Kecenderungan ini dinamakan *inersia*.

Ukuran yang menyatakan kecenderungan ini dinamakan *massa*.

Dalam gerak rotasi tiap-tiap benda juga mempunyai kecenderungan untuk mempertahankan keadaannya.

Misalnya bumi berotasi pada porosnya mulai bumi diciptakan sampai sekarang tanpa henti-hentinya.

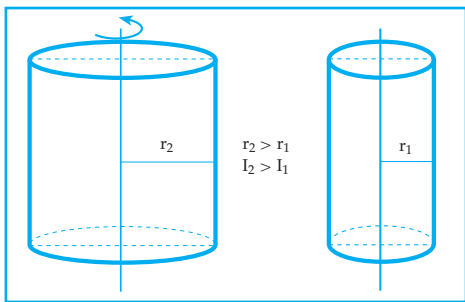


Gambar 6.9  
Rotasi bumi pada porosnya

Kecenderungan berotasi seperti itu dinamakan *inersia rotasi*.

Ukuran untuk menyatakan besarnya kecenderungan ini dinamakan *momen inersia*.

Berbeda dengan massa benda yang hanya tergantung pada jumlah kandungan zat di dalam benda tersebut, momen inersia di samping tergantung pada jumlah kandungan zat (massa benda) juga tergantung pada bagaimana zat-zat atau massa ini terdistribusi. Semakin jauh distribusi massa dari pusat putaran semakin besar momen inersianya.

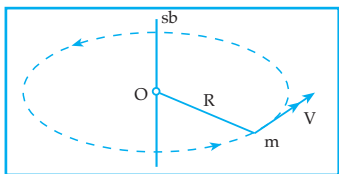


Gambar 6.10 Rotasi pada poros silinder

Gambar 6.10 di samping menggambarkan silinder besar dan silinder kecil yang sejenis sedang berotasi. Momen inersia dari silinder besar lebih besar dibanding momen inersia dari silinder kecil.

1. Momen Inersia

Apakah momen inersia itu, mari kita mulai dari pembahasan momen inersia titik partikel.



Gambar 6.11 Gerak rotasi partikel

Gambar 6.11 melukiskan sebuah titik partikel dengan massa  $m$  sedang melakukan gerak rotasi pada sumbunya dengan jari-jari  $R$ .

Momen inersia dari titik partikel tersebut dinyatakan sebagai hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak partikel ke sumbu putar (jari-jari). Dengan demikian momen inersia titik partikel dapat dinyatakan dengan:

$I = m \cdot R^2$

I = momen inersia (Kg m<sup>2</sup>)

m = massa partikel (kg)

R = jari-jari rotasi (m)

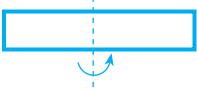

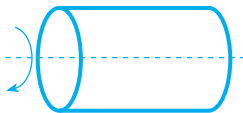
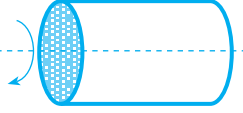
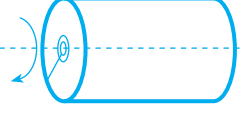
Benda yang terjadi dari beberapa partikel yang berotasi pada sumbunya maka momen inersianya merupakan jumlah momen inersia dari partikel-partikel yang terkandung di dalam benda tersebut.

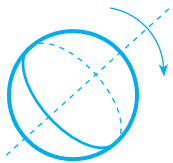
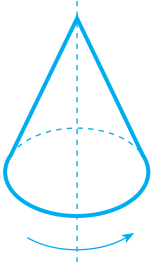
Sehingga dapat dinyatakan dengan:

$I = \sum m_n \cdot R_n^2$

Benda-benda yang teratur bentuknya dan berotasi pada suatu sumbu tertentu mempunyai persamaan momen inersia tertentu seperti pada tabel 6.1 berikut.

Tabel 6.1 Momen Inersia untuk Bangun Beraturan

Gambar bangun	Nama benda	Momen inersia
	Batang homogen terhadap sumbu yang melalui pertengahan dan tegak lurus batang	$I = \frac{1}{2} m \cdot L^2$
	Batang homogen terhadap sumbu yang melalui ujung dan tegak lurus batang	$I = \frac{1}{3} m \cdot L^2$
	Bidang lengkung tabung terhadap sumbunya	$I = m \cdot R^2$
	Tabung pejal terhadap sumbunya	$I = \frac{1}{2} m \cdot R^2$
	Tabung berbentuk pipa tebal terhadap sumbunya	$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$

Gambar bangun	Nama benda	Momen inersia
	Bola pejal terhadap sumbu yang melalui pusatnya. Bola berongga dengan ketebalan kulit diabaikan	$I = \frac{2}{5} m R^2$ $I = \frac{2}{3} m R^2$
	Kerucut pejal terhadap sumbu kerucut	$I = \frac{3}{10} m \cdot R^3$

Keterangan:

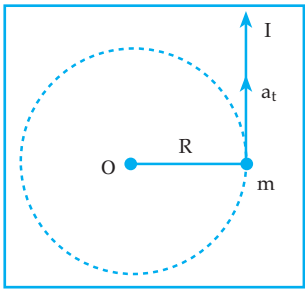
m = massa benda

L = panjang benda

R<sub>1</sub> = jari-jari dalam

R<sub>2</sub> = jari-jari luar

## 2. Hukum Newton Pada Gerak Rotasi



Gambar 6.12 Gerak rotasi oleh gaya F tegak lurus

Gambar 6.12 melukiskan sebuah partikel bermassa m yang diberi gaya F tegak lurus jari-jari (R). Menurut hukum Newton benda akan dipercepat dengan percepatan searah dengan gaya. Percepatan ini dinamakan percepatan singgung (a<sub>t</sub>). Hubungan antara gaya dan percepatan ini adalah: F = m . a<sub>t</sub>

Karena percepatan singgung a<sub>t</sub> = α . R maka:

$$F = m \cdot \alpha \cdot R.$$

Jika kedua ruas dikali dengan R di dapat:

$$F \cdot R = m \alpha R^2$$

FR disebut momen gaya (σ) yang bekerja pada partikel yang berotasi dengan jari-jari R dan mR<sup>2</sup> disebut momen inersia partikel yang bermassa m dan berotasi dengan jari-jari R.

Dari persamaan  $F \cdot R = m \cdot a \cdot R^2$  diperoleh:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Persamaan ini mirip dengan Hukum II Newton ( $F = m \cdot a$ ).

Dalam hal ini  $\tau$  berperan seperti gaya pada gerak translasi,  $\tau$  berperan seperti percepatan pada gerak translasi dan  $I$  berperan sebagai massa pada gerak translasi. Dengan demikian semakin besar nilai dari  $I$  semakin sulit benda itu berotasi.

Bagaimana dengan besaran yang lain pada gerak rotasi? Misalnya energi kinetik rotasi ( $E_{k_{rot}}$ )

Berdasarkan gerak translasi  $E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$

Jika kita hubungkan dengan gerak rotasi  $v = \omega \cdot R$  maka energi kinetik partikel bermassa  $m$  yang melakukan gerak rotasi dapat dinyatakan:

$$E_{k_{rot}} = \frac{1}{2}m \cdot \omega^2 \cdot R^2$$

$$E_{k_{rot}} = \frac{1}{2}I \cdot \omega^2$$

Dalam hal ini  $\omega$  berperan seperti kecepatan pada gerak translasi.

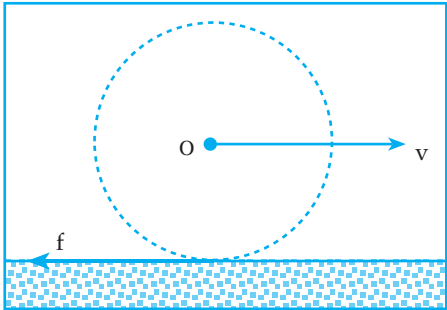
Dari uraian di atas jelas ada hubungan antara gerak translasi dan gerak rotasi dan hubungan tersebut dapat Anda lihat pada tabel 6.2 berikut.

**Tabel 6.2 Hubungan antara gerak rotasi dan translasi**

No.	Gerak Rotasi	Gerak Translasi
1.	Sudut yang ditempuh $\theta$	Jarak yang ditempuh $S$
2.	Kecepatan sudut $\omega$	Kecepatan $v$
3.	Percepatan $\alpha$	Percepatan $a$
4.	Momen inersia $I$	Massa $m$
5.	Momen gaya $\tau$	Gaya $F$
6.	$\omega = \omega_o + \alpha \cdot t$	$v = v_o + at$
7.	$\theta = \omega_o \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2$	$S = v_o t + \frac{1}{2}at^2$
8.	Momentum sudut $L = I \cdot \omega$	Momentum $P = m \cdot v$
9.	Impuls sudut $= \tau \cdot \Delta t$	Impuls $= F \cdot \Delta t$
10.	$\tau \cdot \Delta t = I \cdot \omega_t - I \omega_o$	$F \cdot \Delta t = mv_t - mv_o$
11.	Hk. II newton $\tau = I \cdot \alpha$	Hk. II newton $F = m \cdot a$
12.	Usaha $W = \tau \cdot \theta$	Usaha $W = F \cdot s$
13.	Energi kinetik rotasi $E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$	Energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$
14.	$W = \frac{1}{2} \cdot I \omega_t^2 - \frac{1}{2} I \cdot \omega_o^2$	$W = \frac{1}{2}v_t^2 - \frac{1}{2}m v_o^2$

No.	Gerak Rotasi	Gerak Translasi
15.	Hk. III newton $\tau_{AB} = -\tau_{BA}$	Hukum III newton $F_{AB} = -F_{BA}$
16.	Hk. kekekalan momentum sudut $I_A \omega_A + I_B \omega_B = I_A \omega'_A + I_B \omega'_B$	Hk. kekekalan momentum $m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$

### 3. Menggelinding



Gambar 6.13

Gambar 6.13 melukiskan sebuah bola yang sedang menggelinding tanpa slip.

Selama bola melakukan gerak menggelinding tanpa slip, maka pada dasarnya bola tersebut telah melakukan gabungan dua gerakan langsung yaitu bergeser (translasi) dan berputar (berotasi).

Bola menggelinding tanpa slip, jika jarak yang ditempuh bola sama dengan panjang busur yang ditempuh bola selama menggelinding.

$S = \theta \cdot R$

$S$  = jarak yang ditempuh  
 $\theta$  = sudut pusat bola yang ditempuh  
 $R$  = jari-jari bola

Karena menggelinding tanpa slip merupakan gerak gabungan dari gerak translasi dan gerak rotasi maka syarat benda menggelinding tanpa slip jika:

$\Sigma \tau = I \cdot \alpha$

dan

$\Sigma F = m \cdot a$

Bagaimana dengan energi kinetik benda menggelinding?

Energi kinetik benda menggelinding dinyatakan dengan:

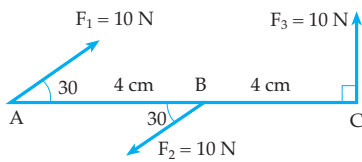
$$Ek = Ek_{\text{Tran}} + Ek_{\text{Rot}}$$

$Ek = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$



## Contoh Soal 6.2

1.



Perhatikan gambar di samping! Pada batang AC yang massanya diabaikan bekerja 3 gaya yang besar dan arahnya seperti pada gambar. Tentukan momen gaya total terhadap:

- titik A
- titik B

*Penyelesaian*

a.  $\tau_A = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

$$\tau_A = (F_1 \cdot \sin 30^\circ \cdot 0) + (F_2 \cdot AB \cdot \sin 30^\circ) - (F_3 \cdot AC \cdot \sin 90^\circ)$$

$$\tau_A = 0 + 20 - 80 = -60 \text{ Ncm}$$

b.  $\tau_B = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

$$\tau_B = (F_1 \cdot AB \sin 30^\circ \cdot 0) + (F_2 \cdot 0) - (F_3 \cdot BC \cdot \sin 90^\circ)$$

$$\tau_B = 20 + 0 - 40 = -20 \text{ Ncm}$$

2. Sebuah partikel dengan massa 2 gram bergerak melingkar dengan jari-jari lingkaran 2 cm dan kecepatan sudut 10 Rad/s. Tentukan momentum sudut partikel itu terhadap pusat lingkaran!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ gr} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

$$L = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\omega = 10 \text{ Rad/s}$$

Ditanya: L

Jawab:

$$I = m \cdot R^2 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-4}$$

$$I = 8 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^2$$

$$L = I \cdot \omega$$

$$L = 8 \cdot 10^{-7} \cdot 10 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

3. Sebuah batang dengan massa 2 kg dan panjang 0,5 m diputar dengan sumbu putar melalui salah satu ujungnya dengan kecepatan sudut 24 Rad/s. Kemudian gerakan batang dipercepat dengan percepatan sudut 2 Rad/s<sup>2</sup>. Tentukan momentum sudut batang setelah 3 sekon!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ kg}$  ;  $L = 0,5 \text{ m}$

$$\omega_0 = 24 \text{ Rad/s} ; \alpha = 2 \text{ Rad/s}^2 ; t = 3 \text{ sekon}$$

Ditanya: L

Jawab :

$$I = \frac{1}{3} m L^2$$

$$I = \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot (0,5)^2$$

$$I = \frac{1}{6} \text{ kgm}^2$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

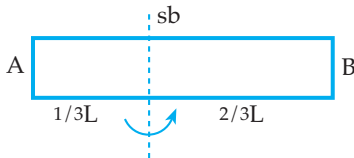
$$\omega = 4 + 6 = 10 \text{ m/s}$$

$$L = I \cdot \omega$$

$$L = \frac{1}{6} \cdot 30$$

$$L = 5 \text{ kgm}^2/\text{s}$$

4.



Batang homogen AB dengan panjang 60 cm bermassa 3 kg diputar dengan sumbu putar tegak lurus batang berjarak  $\frac{1}{3} L$  dari ujung A ( $L$  = panjang batang AB). Berapakah momen inersia batang AB tersebut?

*Penyelesaian*

Untuk menghitung momen inersia batang AB dapat dianggap batang AB terdiri atas dua bagian yang masing-masing diputar pada ujungnya, sehingga:

Untuk batang dengan panjang  $\frac{1}{3}L$  diperoleh:

$$m_1 = \frac{1}{3} \cdot 3 = 1 \text{ kg}$$

$$L_1 = \frac{1}{3} \cdot 0,6 = 0,2 \text{ m}$$

$$I_1 = \frac{1}{3} m_1 \cdot L_1^2 = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,04 = \frac{4}{300} \text{ kg m}^2$$

Untuk batang dengan panjang  $\frac{2}{3} L$  diperoleh:

$$m_2 = \frac{2}{3} \cdot 3 = 2 \text{ kg.}$$

$$L_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,6 = 0,4 \text{ m}$$

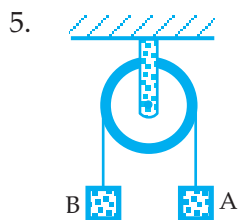
$$I_2 = \frac{1}{3} m_2 \cdot L_2^2 = \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 0,16 = \frac{32}{300} \text{ kg m}^2$$

Jadi, momen inersia batang AB:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{4}{300} + \frac{32}{300}$$

$$I = \frac{36}{300} = 0,12 \text{ kg m}^2$$



Perhatikan gambar di samping! Dua benda A dan B masing-masing bermassa 3 kg dan 2 kg dihubungkan dengan sebuah tali melalui sebuah katrol bermassa 2 kg dan berjari-jari 10 cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitung jarak yang ditempuh oleh benda A 1 sekon setelah dilepaskan!

*Penyelesaian*

Setelah benda A dan B dilepaskan maka benda A bergerak ke bawah dan benda B bergerak ke atas maka:

Untuk benda A:  $\Sigma F = m \cdot a$

$$W_A - T_1 = m_A \cdot a$$

$$30 - T_1 = 3a$$

$$T_1 = 30 - 3a \quad \dots\dots\dots (1)$$

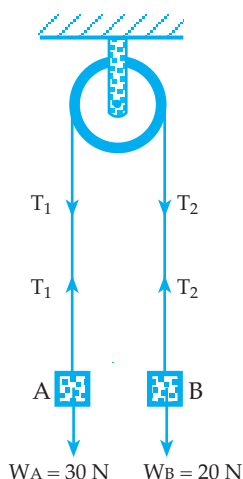
Untuk benda B:  $\Sigma F = m \cdot a$

$$T_2 - W_B = m_B \cdot a$$

$$T_2 - 20 = 2a$$

$$T_2 = 20 + 2a \quad \dots\dots\dots (2)$$

Untuk katrol:  $\Sigma \tau = I \cdot \alpha$



$$(T_1 - T_2)R = \frac{1}{2}m_K \cdot R^2 \cdot \frac{a}{R}$$

$$(T_1 - T_2) = \frac{1}{2}m_K \cdot a$$

$$(30 - 3a) - (20 + 2a) = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot a$$

$$10 - 5a = a$$

$$10 = 6a$$

$$a = \frac{5}{3} \text{ m/s}^2$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \rightarrow v_0 = 0$$

$$S = 0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{3} \cdot 1 = \frac{5}{6} \text{ m}$$

6. Sebuah bola besi pejal dengan massa 2 kg dan berjari-jari 20 cm sedang menggelinding di atas permukaan datar kasar dengan kelajuan 4 m/s. Tentukan energi kinetik dari bola besi tersebut!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ kg}$  ;  $R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  ;  $v = 4 \text{ m/s}$

Ditanya: Ek

Jawab :

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}m \cdot R^2 \cdot \frac{v^2}{R^2}$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{5}mv^2$$

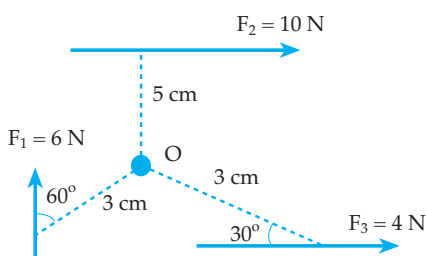
$$E_k = \frac{7}{10}m \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{7}{10} \cdot 2 \cdot 16 = 22,4 \text{ Joule}$$

### Uji Pemahaman 6.1

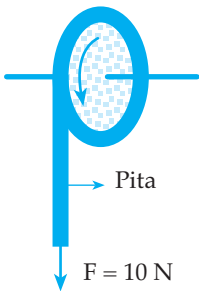
Kerjakan soal berikut!

1.



Perhatikan gambar di samping! Pada titik O dikerjakan 3 buah gaya sebidang  $F_1$ ,  $F_2$  dan  $F_3$  dengan arah dan besar seperti tampak pada gambar. Tentukan momen gaya resultan dari ketiga gaya tersebut!

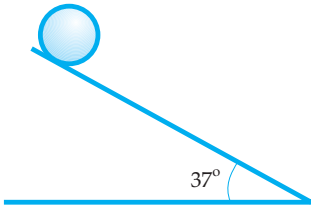
2.



Perhatikan gambar di samping! Sebuah cakram yang bermassa 10 kg dan berjari-jari 20 cm dapat berputar pada poros mendatar. Di sekeliling cakram dililitkan seutas pita dan ujung pita ditarik dengan gaya tetap sebesar 10 N. Tentukan:

- percepatan sudut cakram
  - kecepatan sudut cakram setelah berputar selama 1 sekon
  - sudut yang sudah ditempuh cakram selama 1 sekon!
3. Sebuah bola pejal berjari-jari 20 cm dan bermassa 2 kg berotasi dengan sumbu putar pada pusat bola dengan persamaan posisi sudut  $\theta = (2t^2 + 40t)$  Radian. Pada saat 2 sekon dari saat berotasi tentukan:
- momentum sudutnya
  - energi kinetik rotasinya!

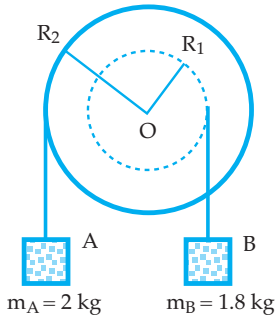
4.



Perhatikan gambar di samping! Sebuah bola pejal dengan massa 2 kg dan jari-jari 20 cm dilepas pada bidang miring kasar, setelah 2 sekon dari saat dilepaskan, tentukan:

- kecepatan liniernya
- jarak yang ditempuh
- kecepatan sudutnya
- gaya geseknya

5.



Gambar di samping melukiskan dua katrol pejal satu poros masing-masing berjari-jari  $R_2 = 50$  cm dan  $R_1 = 20$  cm. Pada katrol besar dililitkan tali dan ujungnya digantungkan beban A. Pada katrol kecil juga dililitkan tali dan ujungnya digantungkan beban B. Jika sistem mula-mula diam kemudian beban A dan B dilepaskan ternyata momen inersia total dari kedua katrol adalah  $1,7 \text{ kg m}^2$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:

- percepatan sudut masing-masing katrol
- gaya tegang tali tergantung beban A dan beban B!

## C. KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

### 1. Kestimbangan Partikel

Pengertian partikel adalah benda yang volumenya kecil dan dianggap sebagai titik. Jika pada sebuah partikel bekerja beberapa buah gaya dan partikel dalam keadaan setimbang (diam atau bergerak lurus beraturan) tentunya dalam keadaan ini berlaku Hukum I Newton. Syarat partikel setimbang jika jumlah aljabar gaya-gaya yang bekerja sama dengan nol.

$$\Sigma F = 0$$

Gaya-gaya yang bekerja pada partikel dalam satu bidang datar, misalnya pada bidang XOY maka  $\Sigma F = 0$  dapat juga dinyatakan dengan  $\Sigma F_x = 0$  dan  $\Sigma F_y = 0$ .

### 2. Kestimbangan Benda Tegar

Pengertian benda tegar adalah benda yang tidak berubah bentuknya atau jarak tiap bagian-bagiannya tetap. Jika pada sebuah benda tegar bekerja beberapa buah gaya dan benda tegar dalam keadaan setimbang maka benda tegar tersebut memenuhi syarat kestimbangan rotasi dan syarat kestimbangan translasi.

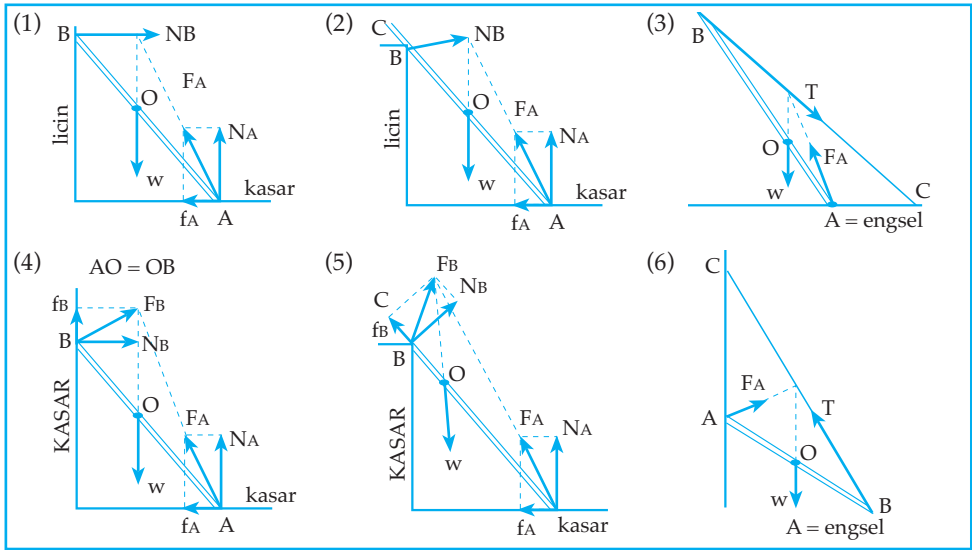
Benda tegar dalam keadaan setimbang jika memenuhi syarat:

$$\Sigma F = 0 \text{ dan } \Sigma \tau = 0$$

$\Sigma F = 0$  adalah syarat kesetimbangan translasi

$\Sigma \tau = 0$  adalah syarat kesetimbangan rotasi

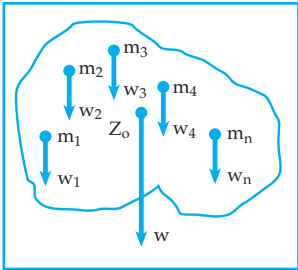
Contoh konstruksi kesetimbangan benda karena pengaruh 3 gaya:



Gambar 6.14 Konstruksi kesetimbangan benda

3. Titik Berat

Pada dasarnya sebuah benda terdiri atas partikel-partikel dengan jumlah tak terhingga yang masing-masing partikel mempunyai massa-massa tertentu. Perhatikan gambar 6.15 berikut.



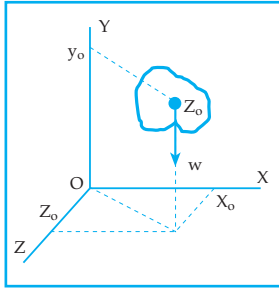
Gambar 6.15 Titik berat

Jika benda tersebut berada dalam medan gravitasi maka masing-masing partikel tersebut mempunyai berat ( $w_1, w_2, w_3, w_4, w_n$ ).

Resultan dari gaya berat-gaya berat dari masing-masing partikel itulah yang kemudian disebut dengan berat benda ( $W$ ) dan titik tangkap gaya berat itu disebut dengan titik berat ( $Z_0$ ).

Bagaimana cara menentukan letak titik berat suatu benda?  
Untuk mengetahui hal tersebut digunakan sistem koordinat.

Perhatikan gambar 6.16 di bawah ini!



Gambar 6.16 Sistem koordinat titik berat

Jika  $Z_o$  adalah letak titik berat benda maka koordinat titik berat dalam ruang XYZ dapat dinyatakan dengan  $Z_o = (x_o, y_o, z_o)$  dimana:

$$X_o = \frac{\Delta W_1 X_1 + \Delta W_2 X_2 + \dots + \Delta W_n X_n}{\Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n} = \frac{\sum_{n=1}^n \Delta W_n X_n}{W}$$

$$Y_o = \frac{\Delta W_1 Y_1 + \Delta W_2 Y_2 + \dots + \Delta W_n Y_n}{\Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n} = \frac{\sum_{n=1}^n \Delta W_n Y_n}{W}$$

$$Z_o = \frac{\Delta W_1 Z_1 + \Delta W_2 Z_2 + \dots + \Delta W_n Z_n}{\Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n} = \frac{\sum_{n=1}^n \Delta W_n Z_n}{W}$$

Pada benda-benda homogen (massa jenisnya sama)  $\Delta W$  dapat diubah seperti berikut.

- Diketahui massanya:

$$X_o = \frac{\sum M_n X_n}{M}$$

$$Y_o = \frac{\sum M_n Y_n}{M}$$

$$Z_o = \frac{\sum M_n Z_n}{M}$$

- Diketahui volumenya:

$$X_o = \frac{\sum V_n X_n}{V}$$

$$Y_o = \frac{\sum V_n Y_n}{V}$$

$$Z_o = \frac{\sum V_n Z_n}{V}$$

- Diketahui luas permukaannya:

$$X_o = \frac{\sum A_n X_n}{A}$$

$$Y_o = \frac{\sum A_n Y_n}{A}$$

$$Z_o = \frac{\sum A_n Z_n}{A}$$

- Benda berbentuk garis:

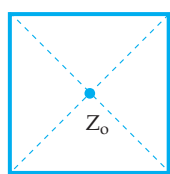
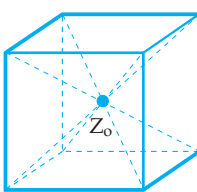
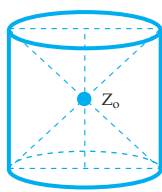
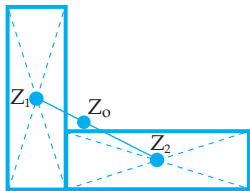
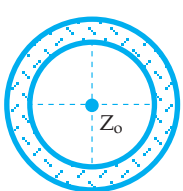
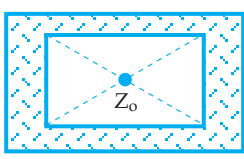
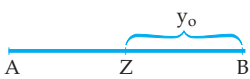
$$X_o = \frac{\sum L_n X_n}{L}$$

$$Y_o = \frac{\sum L_n Y_n}{L}$$

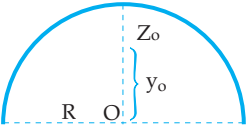
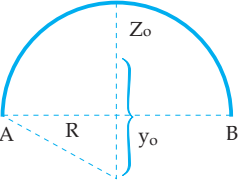
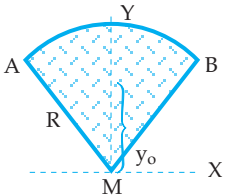
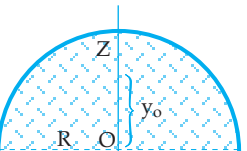
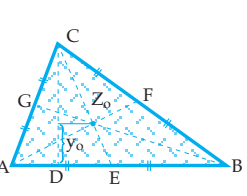
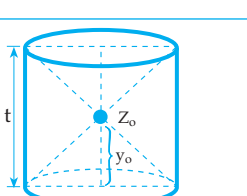
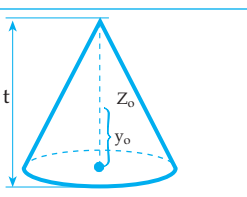
$$Z_o = \frac{\sum L_n Z_n}{L}$$

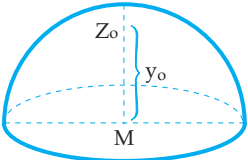
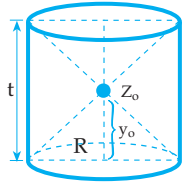
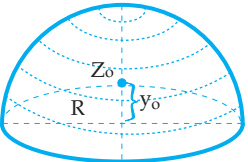
Pada benda-benda yang teratur bentuknya mempunyai letak titik berat tertentu, perhatikan tabel 6.3 berikut.

**Tabel 6.3 Letak Titik Berat Benda Homogen Bentuk Teratur**

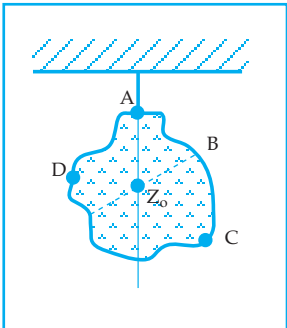
Gambar	Nama	Letak titik berat	Keterangan
	Bujur sangkar	$Z_o$	$Z_o$ = perpotongan garis diagonal
	Kubus	$Z_o$	$Z_o$ = perpotongan garis diagonal ruang
	Silinder	$Z_o$	$Z_o$ = pusat sumbu silinder
	Dua persegi panjang	$Z_o$	$Z_o$ = tengah-tengah garis hubung $Z_1$ dan $Z_2$
	Cincin tipis	$Z_o$	$Z_o$ = pusat lingkaran cincin
	Cincin tipis persegi	$Z_o$	$Z_o$ = perpotongan garis diagonal bidang
	Garis lurus	$y_o = \frac{1}{2}AB$	$Z$ = di tengah-tengah AB



Gambar	Nama	Letak titik berat	Keterangan
	Busur setengah lingkaran	$y_o = \frac{2R}{\pi}$	R = jari-jari lingkaran
	Busur lingkaran	$y_o = \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} \cdot R$	$\overline{AB}$ = tali busur AB R = jari - jari lingkaran
	Bidang juring lingkaran	$y_o = \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} \cdot \frac{2}{3}R$	R = jari - jari lingkaran $\overline{AB}$ = tali busur AB AB = busur AB
	Setengah lingkaran	$y_o = \frac{4R}{3\pi}$	R = jari-jari lingkaran
	Bidang segitiga	$y_o = \frac{1}{3}t$	t = tinggi z = perpotongan garis berat AF, CE, dan BG, CF = BF; AE = BE dan AG = GC
	Bidang kulit silinder	$y_o = \frac{1}{2}t$	t = tinggi silinder
	Bidang kulit kerucut	$y_o = \frac{1}{3}t$	t = tinggi kerucut

Gambar	Nama	Letak titik berat	Keterangan
	Bidang kulit setengah bola	$y_o = \frac{1}{2}R$	$R$ = jari-jari bola
	Silinder pejal	$y_o = \frac{1}{2}t$ $V = \pi R^2 t$	$t$ = tinggi silinder $V$ = volume silinder $R$ = jari-jari silinder
	Setengah bola pejal	$y_o = \frac{3}{8}t$ $V = \frac{3}{8}\pi R^2$	$R$ = jari-jari bola $V$ = volume setengah bola

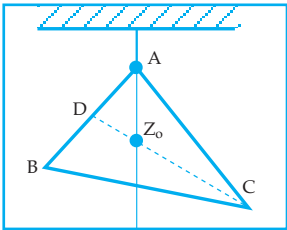
Catatan:

- 

Letak titik berat benda homogen yang bentuknya tidak teratur

Titik berat benda-benda yang tidak teratur bentuknya ditentukan dengan eksperimen yaitu dengan cara digantung dengan tali pada beberapa bagian dan letak titik beratnya berada di perpotongan perpanjangan tali penggantung. Titik A, B, dan C adalah titik-titik tempat menggantung benda.

Gambar 6.17 Letak titik berat

- 

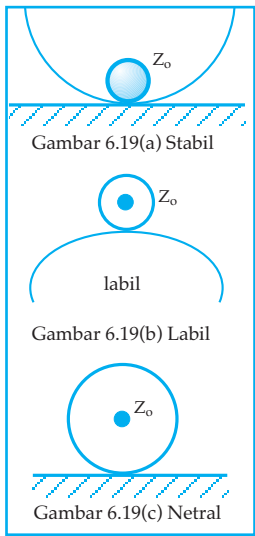
Letak titik berat benda yang mempunyai sumbu simetri

Pada benda yang mempunyai sumbu simetri, letak titik beratnya berada di sumbu simetri tersebut. Bidang ABC adalah segitiga samakaki ( $AC = BC$ ) dengan CD sebagai sumbu simetri.

Gambar 6.18 Titik berat dengan sumbu simetri

4. Macam-macam Kestimbangan

Macam kestimbangan benda ada tiga, yaitu kestimbangan stabil, labil dan indeferen (netral) dengan sifat sebagai berikut.



- a. Kestimbangan stabil, jika benda diberi gangguan dari sikap setimbangnya maka ia akan kembali ke kedudukannya semula. Ini terjadi jika dalam gangguan tersebut titik berat berpindah ke atas.
- b. Kestimbangan labil, jika benda diberi gangguan dari sikap setimbangnya, maka ia tidak akan kembali kedudukan semula. Ini terjadi jika dalam gangguan tersebut titik berat berpindah ke bawah.
- c. Kestimbangan netral (indeferen) jika benda diberi gangguan dari sikap setimbangnya, maka dalam kedudukan barunya ia tetap seimbang. Ini terjadi jika dalam gangguan tersebut titik beratnya tetap tingginya.

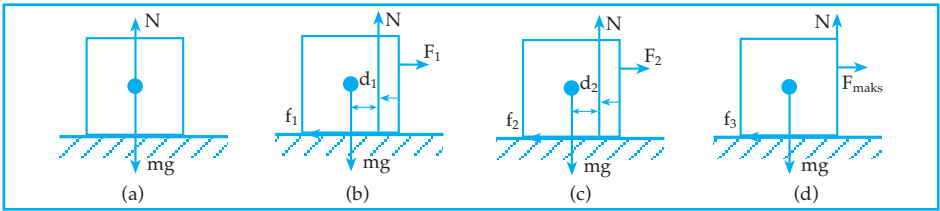
Menggeser dan Mengguling

Jika pada sebuah benda dikenai gaya maka benda tersebut dapat menggeser atau mengguling.

Syarat:

- benda menggeser, jika  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \tau = 0$
- benda mengguling, jika  $\Sigma F = 0$  dan  $\Sigma \tau \neq 0$
- benda menggeser dan mengguling jika  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \sigma \neq 0$

Tinjaulah sebuah balok seperti gambar berikut. Bila tidak ada gaya dari luar yang mempengaruhi balok, maka seperti lazimnya gaya berat  $mg$  akan menimbulkan gaya reaksi yang disebut gaya normal  $N$ . Keduanya mempunyai garis kerja berimpit (gambar 6.20 (a)).



Gambar 6.20 Menggeser dan mengguling

Jelas dalam keadaan (a) ini benda diam (seimbang stabil) sehingga syarat seimbang stabil akan dipenuhi yang berarti  $N = mg$  dan segaris kerja.

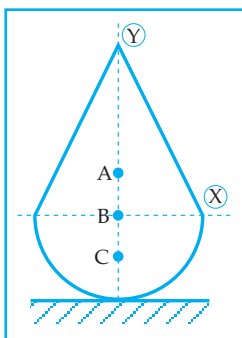
Apabila kemudian ada gaya luar  $F_1$  bekerja pada benda seperti gambar 6.20 (b) maka gaya normal  $N$  akan bergeser searah dengan arah gaya  $F_1$ , sejauh  $d_1$  dalam hal ini ke kanan. Tetapi benda masih diam. Akibatnya pada  $F_1$  ini akan timbul reaksi gaya gesekan  $f_1$ . Karena benda masih dalam keadaan diam maka berlaku:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow \Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma \tau = 0$$

Apabila gaya luar diperbesar lagi sampai menjadi  $F_2$  seperti gambar 6.20 (c) maka benda melakukan gerak translasi. Ini berarti  $F_2$  lebih besar dari  $f_2$ , pada keadaan ini berlaku  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \tau = 0$ .

Keadaan seperti inilah yang disebut *menggeser*. Gaya normal sudah berpindah lebih jauh lagi menjadi  $d_2$ . Kemudian berangsur-angsur gaya luar diperbesar lagi sehingga titik tangkap gaya normal  $N$  sampai di pinggir benda, di titik A seperti gambar 6.20 (d) pada keadaan ini merupakan perpindahan gaya normal  $N$  terjauh dan gaya luar kita sebut  $F$  maksimal. Benda menjadi labil, selain bertranslasi juga dapat berotasi. Pada keadaan ini berlaku:  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \tau \neq 0$ . Keadaan ini disebut *mengguling*.

Catatan:

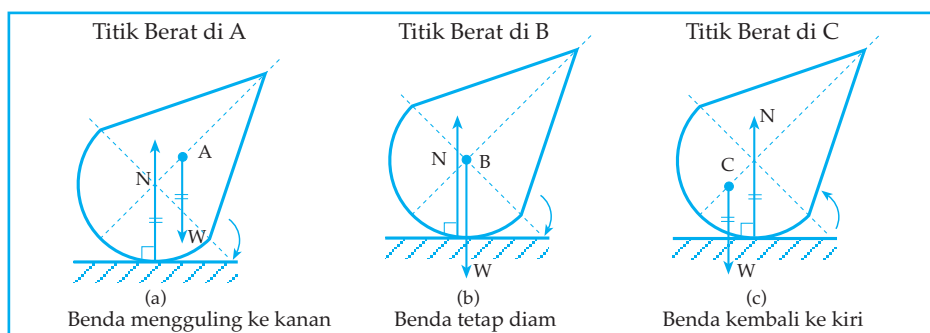


Gambar 6.21  
Keseimbangan labil

Gambar di samping menunjukkan sebuah benda terletak di lantai datar dimana bagian bawahnya berupa setengah bola dan atasnya sembarang, yaitu silinder, kerucut dan lainnya.

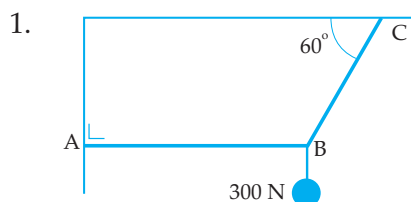
Dalam hal ini ada tiga jenis atau macam kesetimbangan, yaitu:

- 1) Benda dalam kesetimbangan labil, jika titik berat benda di A (di atas sumbu  $x$ ). Jadi kalau digulingkan sedikit benda terus jatuh. (Lihat gambar 6.22 (a)).
- 2) Benda dalam kesetimbangan indeferent, jika titik beratnya di B (tepat di sumbu  $x$ ). Jadi kalau digulingkan sedikit benda tetap diam (lihat gambar 6.22 (b))
- 3) Benda dalam kesetimbangan stabil, jika titik beratnya di C (di bawah sumbu  $x$ ). Jadi kalau digulingkan ke sembarang arah benda akan kembali vertikal (Lihat gambar 6.22 (c))



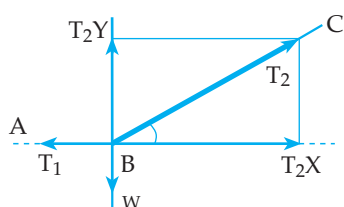
Gambar 6.22

### Contoh Soal 6.3



Gambar di samping melukiskan sebuah benda yang beratnya 300 N digantung dengan tali AB dan BC. Dalam keadaan setimbang hitung gaya tegang tali AB dan BC!

Penyelesaian



$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_2 X - T_1 = 0$$

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot T_2$$

$$T_1 = \frac{1}{2} \times 200\sqrt{3} \text{ N}$$

$$T_2 X = T_2 \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \cdot T_2$$

$$T_2 Y = T_2 \sin 60^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{T_2}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T_2 y - w = 0$$

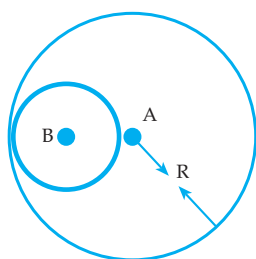
$$\frac{1}{2} \sqrt{3} T_2 = 300$$

$$T_2 = 200\sqrt{3} \text{ N}$$

Jadi, tegangan tali AB =  $T_1 = 100\sqrt{3} \text{ N}$ .

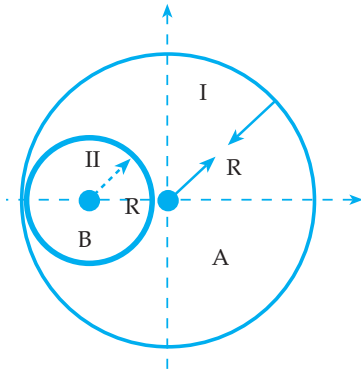
tegangan tali BC =  $T_2 = 200\sqrt{3} \text{ N}$

2.



Pada suatu bidang lingkaran homogen jari-jari R pusat di A dibuat lubang berjari-jari R pusat di B (gambar di samping). Pusat lubang berjarak  $\frac{R}{2}$  dari pusat bidang lingkaran semula. Di manakah letak titik berat lingkaran tersebut ?

### Penyelesaian



$$X_o = \frac{A_I X_1 + A_{II} X_2}{A_I + A_{II}}$$

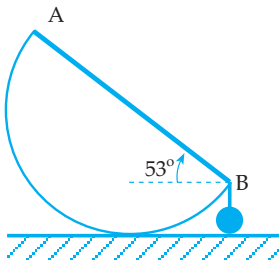
$$A_I = \pi R^2; \quad X_1 = 0$$

$$A_{II} = \pi r^2; \quad X_2 = -\frac{r}{2}$$

$$X_o = \frac{\pi R^2 \cdot 0 + (-\pi r^2) \cdot (-\frac{r}{2})}{\pi R^2 + (-\pi r^2)} = \frac{Rr^2}{2(R^2 - r^2)}$$

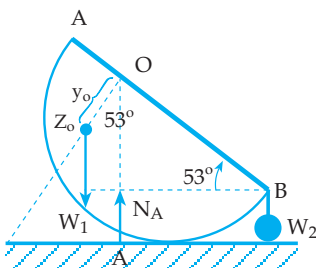
$$X_o = \frac{Rr^2}{2(R^2 - r^2)}; r = \frac{R}{2} : X_o = \frac{R}{6} \text{ (kanan A)}$$

3.



Setengah bola pejal seberat 50 Newton dan jari-jari 20 cm berada pada bidang datar (Lihat gambar). Garis tengah AB horizontal. Berapakah newton beban yang harus digantungkan di B agar garis tengah AB miring  $53^\circ$  terhadap horizontal?

### Penyelesaian



$$Y_o = \frac{3}{8} \cdot R; \quad W_1 = 40$$

$$R = 20 \text{ cm}$$

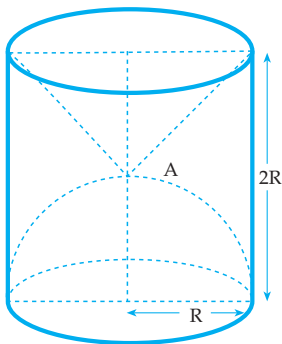
$$\Sigma \tau_o = 0$$

$$W_2 \cdot R \cdot \cos 53^\circ - W_1 \cdot \frac{3}{8} \cdot R \cdot \sin 53^\circ = 0$$

$$W_2 \cdot R \cdot \cos 53^\circ - 40 \cdot \frac{3}{8} \cdot R \cdot \sin 53^\circ = 0$$

$$W_2 = 80 \text{ Newton}$$

4.

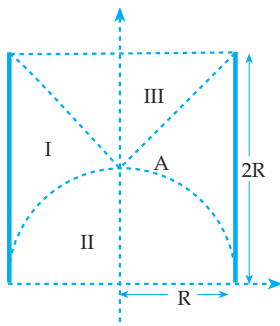


Silinder homogen dan pejal berjari-jari  $R$ , tinggi  $2R$ , massa jenisnya  $6 \text{ kg/m}^3$  salah satu ujungnya dilubangi berbentuk setengah bola (lihat gambar) dan diisi zat dengan  $r = 9 \text{ kg/m}^3$ . Ujung yang lain dilubangi berbentuk kerucut.

Sumbu setengah bola dan kerucut berimpit. Agar titik berat tepat di A, tentukan massa jenis zat yang dapat diisi dalam kerucut tadi!

### Penyelesaian

Benda sekarang tidak homogen, karenanya kita ambil massa jenis relatif, dengan massa jenis silinder sebagai acuan, sehingga:



$$\rho_{\text{silinder}} = 6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{1/2\text{bola}} = 9 - 6 = 3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{kerucut}} = (\rho - 6) \text{ kg/m}^3$$

$$W_I = V_I \cdot \rho_{\text{silinder}}$$

$$= \pi R^2 \cdot 2R \cdot 6$$

$$= 12 \pi R^3$$

$$W_I = 12 \pi R^3 ; Y_I = R$$

$$W_{II} = \frac{2}{3} \pi R^3 \cdot \rho_{1/2\text{bola}}$$

$$= \frac{2}{3} \pi R^3 \cdot 3 = 2 \pi R^3$$

$$W_{II} = 2 \pi R^3 ; Y_{II} = \frac{3}{8}R$$

$$W_{III} = \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot R \rho_{\text{kerucut}}$$

$$= \frac{1}{3} \pi R^3 \cdot (\rho - 6)$$

$$W_{III} = \frac{1}{3} \pi R^3 \cdot (\rho - 6) ; Y_{III} = \frac{7}{4}R$$

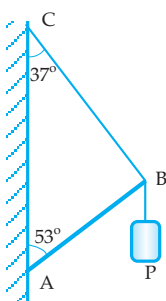
Dalam hal ini  $Y_o = R$

$$R = \frac{12\pi R^3 \cdot R + 2\pi R^3 \cdot \frac{3}{8}R + \frac{1}{3}\pi R^3(\rho - 6) \cdot \frac{7}{4}R}{12\pi R^3 + 2\pi R^3 + \frac{1}{3}\pi R^3 \cdot (\rho - 6)}$$

$$I = \frac{12 + 2 \cdot \frac{3}{8} + \frac{1}{3} \cdot \frac{7}{4}(\rho - 6)}{12 + 2 + \frac{1}{3}(\rho - 6)}$$

$$\rho = 11 \text{ kg/m}^3$$

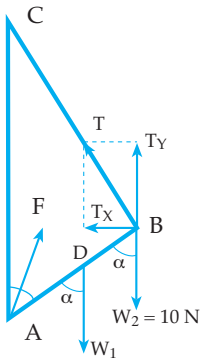
5.



Gambar di samping melukiskan batang homogen AB dengan berat 20 N. Ujung A adalah engsel, ujung B digantung dengan tali dan digantungkan beban P yang beratnya 10 N, seperti tampak pada gambar. Jika sistem setimbang, hitunglah:

- besar gaya tegang tali BC
- gaya engsel di A!

Penyelesaian



a)  $\sum \tau_A = 0$

$$W_1 \cdot \frac{1}{2} L \cdot \sin 53^\circ + W_2 \cdot L \cdot \sin 53^\circ = T \cdot L \cdot \sin 90^\circ$$

$$20 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,8 + 10 \cdot 0,8 = T$$

$$T = 16 \text{ N}$$

b) Gaya F diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:  $F_x$  arah ke kanan dan  $F_y$  arah ke atas.

$$T_x = T \cos 53^\circ = 16 \cdot 0,6 = 9,6 \text{ N}$$

$$T_y = T \sin 53^\circ = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x - T_x = 0$$

$$F_x = T_x = 9,6 \text{ N}$$

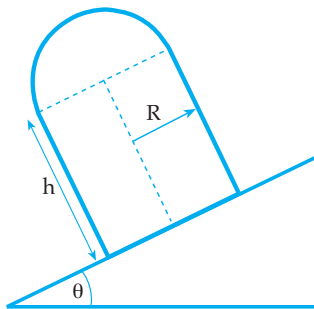
$$\sum F_y = 0$$

$$T_y + F_y - W_1 - W_2 = 0$$

$$F_y = 20 + 10 - 12,8 = 17,2 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{9,6^2 + 17,2^2} = 19,7 \text{ N}$$

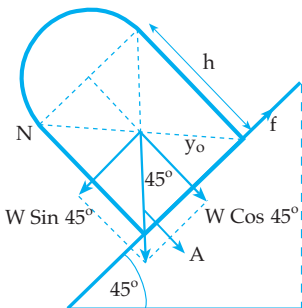
6.



Suatu sistem benda terdiri atas silinder pejal dengan tinggi  $h$  dan jari-jari  $R$  dengan setengah bola pejal yang juga berjari-jari  $R$  seperti terlihat pada gambar di samping.

Benda tersebut diletakkan pada bidang miring kasar  $\theta = 45^\circ$ . Nyatakan tinggi silinder dalam  $R$ , jika sistem benda tersebut berada dalam keadaan setimbang labil!

Penyelesaian



$$\sum \tau_A = 0$$

$$W \cdot \cos 45^\circ \cdot R - W \sin 45^\circ \left( \frac{6h^2 + 8R \cdot h + 3R^2}{12h + 8R} \right) = 0$$

$$R = \frac{6h^2 + 8R \cdot h + 3R^2}{12h + 8R}$$

$$12Rh + 8R^2 = 6h^2 + 8Rh + 3R^2$$

$$6h^2 - 4Rh - 5R^2 = 0$$



$$h_{1,2} = \frac{4R \pm \sqrt{16R^2 + 120R^2}}{12}$$

$$h_{1,2} = \frac{4R \pm 11,66R}{12}; \text{ harus positif}$$

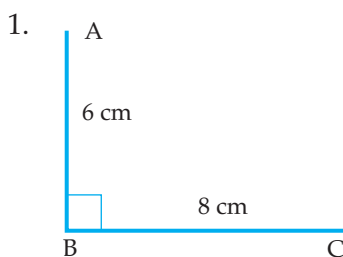
$$h_{1,2} = \frac{4R + 11,66R}{12} = 1,31R$$

Supaya sistem setimbang labil garis kerja gaya berat (W) harus melalui titik kelabilannya (A)

$$Y_o = \frac{6h^2 + 8R.h + 3R^2}{12h + 8R}$$

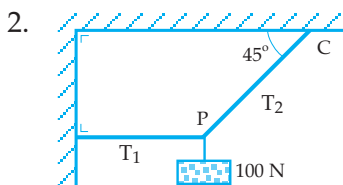
## Uji Pemahaman 6.2

Kerjakan soal berikut!

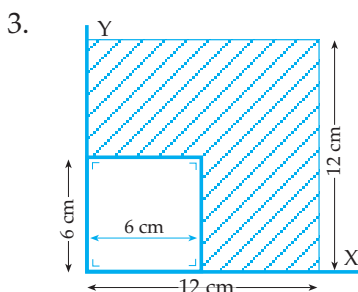


Gambar di samping AB dan BC adalah kawat homogen yang saling tegak lurus.

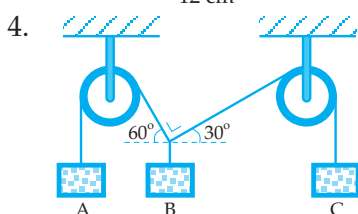
- Tentukan letak titik berat dari sistem kawat tersebut!
- Jika sistem kawat digantung dengan tali di titik A, berapakah besar sudut yang dibentuk oleh perpanjangan tali pengantung dengan kawat AB?



Dari gambar di samping jika sistem setimbang maka tentukan gaya tegang tali  $T_1$  dan  $T_2$ !

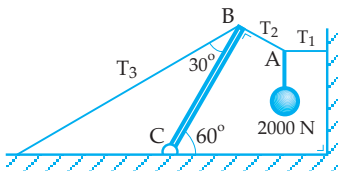


Gambar yang diarsir menunjukkan keping homogen. Tentukan koordinat pusat massa keping tersebut!



Pada sistem yang seimbang pada gambar di samping semua gesekan diabaikan. Berapakah perbandingan berat beban B dan beban C?

5.



Gambar di samping melukiskan batang BC homogen dengan berat  $W = 800 \text{ N}$ . Dalam keadaan setimbang hitunglah gaya tegang tali  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$ !

## Rangkuman

- Momen gaya:  $\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{L}$
- Kopel adalah pasangan dua gaya sejajar, sama besar, berlawanan arah
- Momentum sudut:  $L = mvR$
- Impuls sudut:  $\tau \cdot \Delta t = I(\omega_t - \omega_o)$
- Momen inersia:  $I = mR^2$  atau  $I = \sum m_n R_n^2$
- Menggelinding adalah gerak perpaduan gerak translasi dan gerak relasi.  
Syarat benda yang gelinding:  $\Sigma s = I \cdot a$  dan  $\Sigma F = m \cdot a$
- Energi kinetik benda menggelinding  
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$
- Syarat kesetimbangan benda tegar:  $\Sigma F = 0$  dan  $\Sigma \tau = 0$ .
- Macam kesetimbangan ada 3 macam, yaitu labil, stabil, dan indeferen.

### KATA KUNCI

- Momen gaya
- Kopel
- Momentum sudut
- Impuls sudut
- Momen inersia
- Inersia rotasi
- Gerak rotasi
- Gerak translasi
- Gerak menggelinding
- Keseimbangan
- Titik berat
- Menggeser
- Mengguling



## KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

- Sebuah bola pejal massanya 2 kg menggelinding di atas lantai dengan kecepatan 5 m/s. Bila diameter bola 20 cm, energi kinetik bola tersebut adalah ....  
a. 20 j                      d. 40 j  
b. 25 j                      e. 50 j  
c. 35 j
- Sebuah silinder pejal dengan massa 10 kg dan berjari-jari 0,4 m berputar pada porosnya dengan kecepatan putar 420 rpm. Energi kinetik roda tersebut adalah ... joule.  
a.  $78,4 \pi^2$                   d.  $516,8 \pi^2$   
b.  $178,4 \pi^2$                   e.  $815,6 \pi^2$   
c.  $172,8 \pi^2$

- 

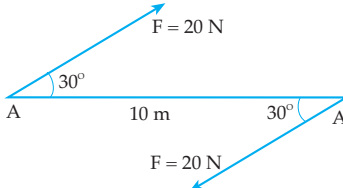
Perhatikan gambar di atas! Batang AB homogen mempunyai panjang L dan massa m. Batang AB dapat berputar bebas pada ujung A. Batang dilepas pada posisi mendatar dari keadaan diam. Percepatan sudut batang adalah ....

- $\frac{3g}{L}$
- $\frac{L}{3g}$
- $\frac{2L}{3g}$
- $\frac{3g}{2L}$
- $\frac{g}{L}$

- Sebuah benda berbentuk silinder pejal berjari-jari R dan massa m diputar pada sumbunya dengan periode T. Besar energi kinetik rotasinya sama dengan ....

- $\frac{\pi^2 m R^2}{24 T^2}$
- $\frac{\pi^2 m R^2}{2 T^2}$
- $\frac{\pi^2 m R^2}{T^2}$
- $\pi^2 m R^2 T^2$
- $\frac{\pi^2 m R^2}{R^2}$

- Sebuah benda bergerak rotasi dengan persamaan posisi sudut  $\theta = \frac{1}{2}t^3 - 5t + 10$  ( $\theta$  dalam radian dan t dalam s). Besarnya percepatan sudut pada detik ke-8 adalah ....  
a.  $123 \text{ rad.s}^{-2}$               d.  $26 \text{ rad.s}^{-2}$   
b.  $112 \text{ rad.s}^{-2}$               e.  $24 \text{ rad.s}^{-2}$   
c.  $28 \text{ rad.s}^{-2}$

- 

Perhatikan gambar di atas!

Pada batang AB yang massanya diabaikan bekerja 2 gaya sama besar dan berlawanan arah. Besar momen kopel yang dilakukan oleh gaya F terhadap batang AB adalah ....

- 200 Ncm
- 100 Ncm
- 2 Ncm
- 1 Ncm
- $100\sqrt{3} \text{ Ncm}$

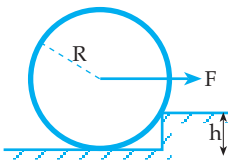
7. Sebuah poros baling-baling pesawat terbang bermassa 60 kg dengan Radius 0,2 m. Besar puntiran tidak setimbang yang akan menyebabkan poros tersebut mempunyai percepatan sebesar  $20 \text{ Rad/s}^2$  adalah ....

a. 48 Nm      d. 240 Nm  
b. 24 Nm      e. 400 Nm  
c. 80 Nm

8. Sebuah roda pejal dengan massa 200 gr berjari-jari 1 cm menggelinding pada lantai mendatar dengan kelajuan tetap 5 m/s. Besar momentum sudutnya adalah ....

a.  $8 \cdot 10^{-6} \text{ g m}^2/\text{s}$   
b.  $6 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2/\text{s}$   
c.  $2 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}$   
d.  $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}$   
e.  $4 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2/\text{s}$

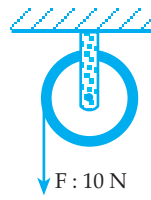
9.



Gambar di atas adalah sebuah roda dengan berat  $W$  dan jari-jari  $R$  akan dinaikkan ke anak tangga setinggi  $h$  dengan ditarik oleh  $F$  mendatar pada pusat roda. Gaya  $F$  minimum yang diperlukan agar roda tersebut dapat dinaikkan adalah ....

a.  $W(R - h)$       d.  $\frac{W(R \pm h)}{R}$   
b.  $\frac{W(Rh \pm h^2)}{R \pm h}$       e.  $\frac{Wh}{R \pm h}$   
b.  $\frac{W(2Rh \pm h^2)^{\frac{1}{2}}}{R \pm h}$

10. Perhatikan gambar di samping! Sebuah katrol pejal dengan massa 10 kg dan berjari-jari 20 cm



yang dapat berputar pada sebuah poros mendatar. Ujung pita yang dililitkan pada katrol ditarik ke bawah dengan gaya yang besarnya tetap sebesar 10 N. Jika katrol mula-mula diam maka sudut yang ditempuh katrol selama 1 sekon adalah ....

a. 1,6 Rad      d. 5 Rad  
b. 0,8 Rad      e. 2,5 Rad  
c. 16 Rad

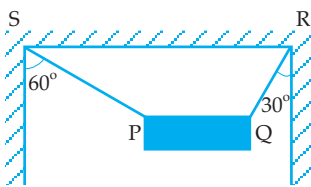
11. Sebuah benda yang berada dalam kesetimbangan, tidak mungkin mempunyai ....

a. gaya-gaya yang bekerja padanya  
b. momen-momen gaya yang bekerja padanya  
c. kecepatan  
d. percepatan  
e. massa

12. Sebuah partikel berada di titik 0 (titik potong sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ). Pada titik O bekerja dua gaya sama besar masing-masing besarnya 20 N dan terhadap sumbu  $x$  positif masing-masing membentuk sudut  $30^\circ$  dan  $90^\circ$ . Agar partikel setimbang maka diperlukan sebuah gaya yang besar dan arahnya terhadap sumbu  $x$  positif adalah ....

a.  $20\sqrt{3} \text{ N} ; 30^\circ$   
b.  $10\sqrt{3} \text{ N} ; 240^\circ$   
c.  $20\sqrt{3} \text{ N} ; 240^\circ$   
d.  $10\sqrt{3} \text{ N} ; 30^\circ$   
e.  $40 \text{ N} ; 240^\circ$

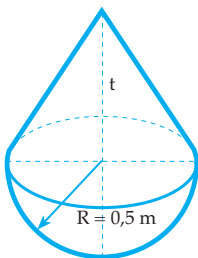
13.



Gambar di atas adalah batang PQ homogen dengan panjang 2 m dan berat 12 N digantung dengan tali SP dan RQ. Jika sistem setimbang maka besar gaya tegang tali SP dan RQ berturut-turut adalah ....

- 6 N dan  $6\sqrt{3}$  N
- 12 N dan  $6\sqrt{3}$  N
- 6 N dan 6 N
- $6\sqrt{3}$  N dan 6 N
- 12 N dan 6 N

14.

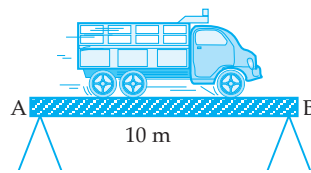


Benda setengah bola dari marmer ( $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ ) dilekatkan pada bidang alas kerucut dari kayu, ( $\rho =$

$750 \text{ kg/m}^3$ ), titik pusat bola setengah bola dan titik pusat bidang alas kerucut sama dengan  $\frac{1}{2}$  m, supaya titik pusat bidang alas kerucut maka tinggi kerucut ....

- $t = \frac{1}{2}\sqrt{2}$  meter
- $t = \frac{1}{2}\sqrt{3}$  meter
- $t = \frac{1}{2}\sqrt{5}$  meter
- $t = \frac{1}{2}\sqrt{6}$  meter
- $t = \frac{1}{2}\sqrt{10}$  meter

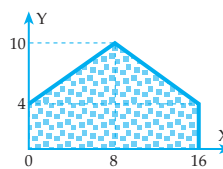
15.



Sebuah jembatan AB panjangnya 10 m (massanya diabaikan). Sebuah truk yang massanya 2000 kg mogok di jembatan tepat 4 m dari titik A, maka gaya normal di titik A dan B adalah ....

- 800 N dan 1.200 N
- 1.200 N dan 800 N
- 8.000 N dan 12.000 N
- 10.000 N dan 10.000 N
- 12.000 N dan 8.000 N

16.

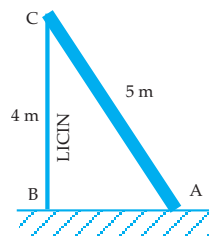


Koordinat y titik berat bangun berdimensi dua seperti pada

gambar adalah ....

- $\frac{8}{7}$
- $\frac{12}{7}$
- $\frac{18}{7}$
- $\frac{26}{7}$
- $\frac{30}{7}$

17.

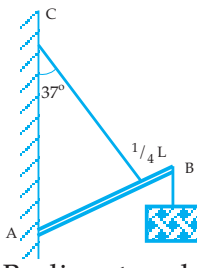


Perhatikan gambar di atas!

Agar batang tepat akan bergeser maka koefisien gesekan di titik A adalah ....

- $\frac{1}{6}$
- $\frac{2}{8}$
- $\frac{3}{8}$
- $\frac{3}{5}$
- $\frac{4}{5}$

18.



Perhatikan gambar di samping!

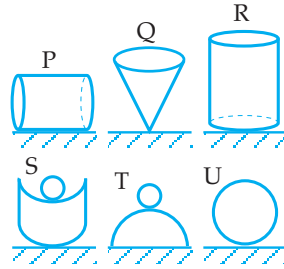
Batang homogen AB panjang 2 m dan beratnya 40 N. Di ujung B digantungkan beban yang beratnya 20 N. Jika AB berada dalam keadaan setimbang maka besar tegangan tali ....

- 42,7 N
- 70 N
- $10\sqrt{97}$  N
- 120 N
- 42,6 N

19. Sebuah roda pejal berjari-jari 20 cm dan bermassa 5 kg. Pada roda itu bekerja momen gaya sebesar 10 Nm. Besar percepatan sudut roda itu adalah ....

- $100 \text{ Rad.s}^{-2}$
- $20 \text{ Rad.s}^{-2}$
- $10 \text{ Rad.s}^{-2}$
- $5 \text{ Rad.s}^{-2}$
- $0,1 \text{ Rad.s}^{-2}$

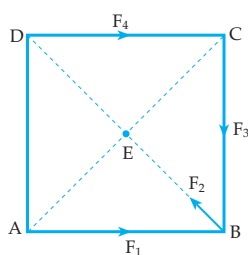
20. Dari 6 macam gambar di bawah ini, pernyataan yang benar adalah ....



- P keseimbangan stabil, T keseimbangan indeferent
- Q keseimbangan labil, S keseimbangan indeferent
- P keseimbangan indeferent, T keseimbangan stabil
- Q keseimbangan labil, S keseimbangan stabil
- R keseimbangan stabil, U keseimbangan stabil

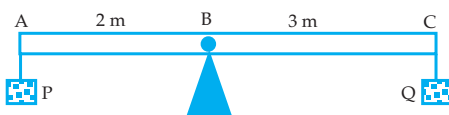
## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

1.



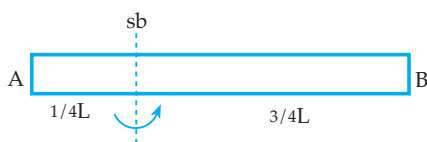
Perhatikan gambar di samping! Bujur sangkar ABCD dengan panjang sisi 20 cm. Pada titik A, B, C, dan D berturut-turut bekerja gaya  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  dan  $F_4$  dengan besar yang sama, sebesar 5 N dengan arah seperti pada gambar. Berapakah resultan momen gaya terhadap titik E!

2.



Perhatikan gambar di atas! Batang AC yang massanya diabaikan ditumpu di titik B. Di titik A digantungkan beban P yang bermassa 30 gram dan di titik C digantungkan beban Q. Jika sistem setimbang hitunglah massa beban Q!

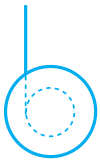
3.



= panjang batang AB). Hitunglah momen inersia batang AB!

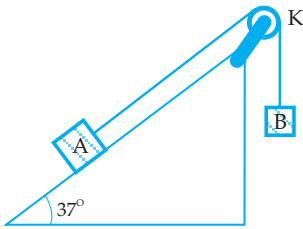
Perhatikan gambar di samping! Batang homogen AB dengan massa 4 kg dan panjang 1,2 m diputar dengan sumbu putar tegak lurus batang berjarak  $\frac{1}{4}L$  dari ujung A ( $L$

4.



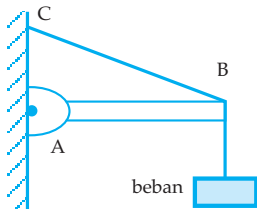
Gambar di samping, melukiskan sebuah yoyo dengan massa 250 gram dan berjari-jari 5 cm sedang dimainkan. Jika panjang tali 90 cm, berapakah kecepatan sudut yoyo pada saat di bawah agar yoyo dapat sampai di tangan orang yang memainkan yoyo tersebut?

5.



Benda A dan B masing-masing bermassa 4 kg dan 6 kg dihubungkan dengan sebuah tali melalui sebuah katrol yang bermassa 4 kg dan berjari-jari 5 cm. Benda A terletak pada bidang miring kasar dengan koefisien gesek 0,5. Hitunglah kecepatan benda A dan B setelah 2 sekon dari saat dilepaskan! ( $\sin 37^\circ = 0,6$ )

6.

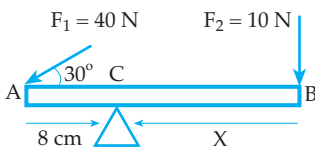


Batang AB homogen panjangnya 40 cm, beratnya 9 N, berat beban = 15 N, jarak AC = 30 cm dan A adalah engsel.

Tentukan:

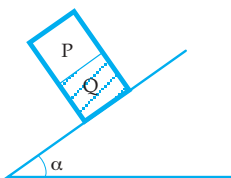
- tegangan tali BC
- besar gaya engsel di A.

7.



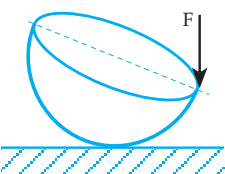
Bila massa balok AB diabaikan maka berapakah harga  $x$  agar balok AB setimbang?

8.



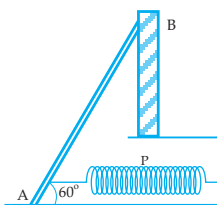
Gambar di samping melukiskan suatu silinder berjari-jari 10 cm dan tinggi 30 cm, terdiri atas 2 bagian sama besar, yaitu P dan Q. Silinder terletak pada bidang miring dengan sudut miring  $\alpha$  ( $\tan \alpha = \frac{5}{12}$ ). Tentukan berat jenis bagian P jika berat jenis Q = 3 dan dalam kesetimbangan labil!

9.



Suatu benda pejal setengah bola homogen beratnya 16 N terletak pada lantai datar. Kemudian di salah satu titik di tepi lingkaran datarnya dipengaruhi oleh gaya vertikal ke bawah  $F = 2\sqrt{3}$  N. Berapakah sudut yang dibentuk bidang lingkaran datarnya terhadap lantai?

10.

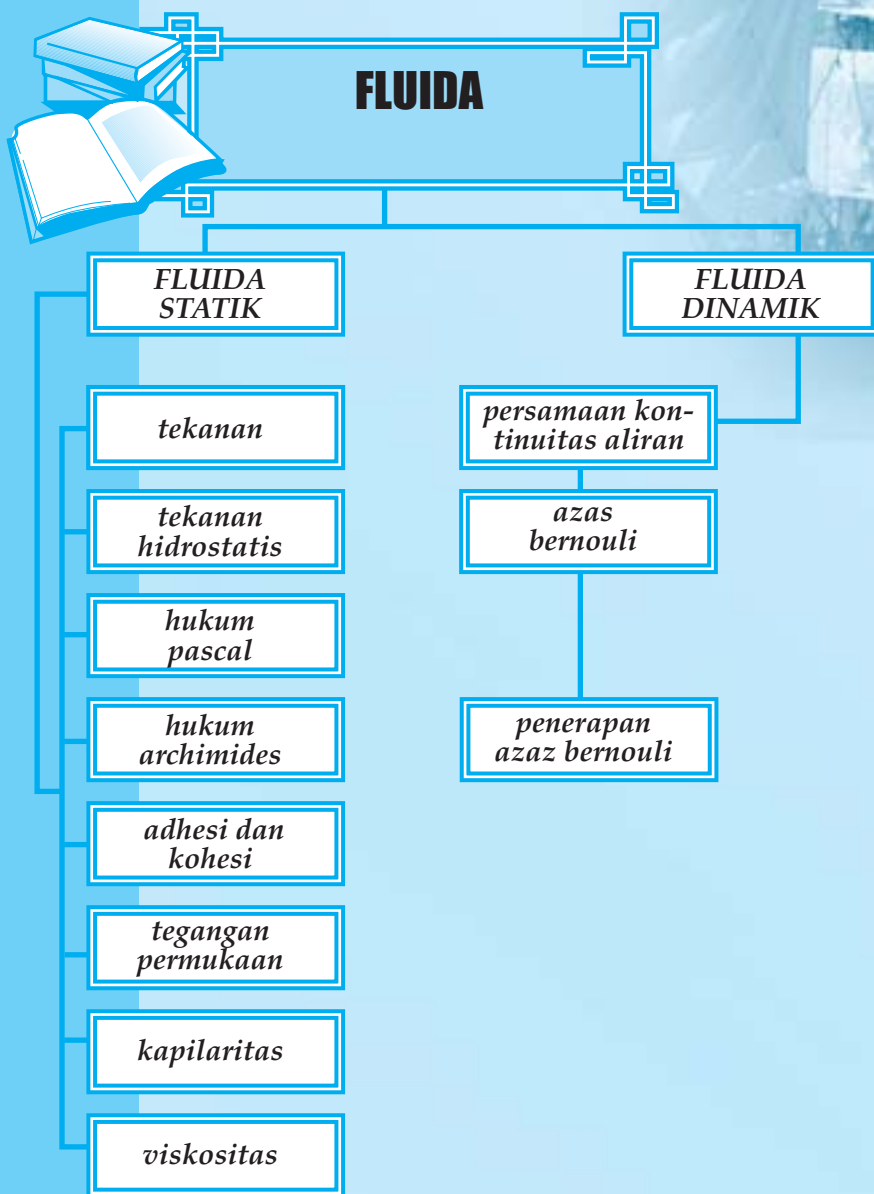


Gambar di samping melukiskan AB adalah batang homogen dengan panjang  $L$  dan berat 120 N; P adalah pegas dengan konstanta gaya 10 N/m dan bila batang AB vertikal pegas tidak merenggang; dinding dan lantai licin maka dalam keadaan setimbang. Hitung pertambahan panjang pegas!

# 7

## FLUIDA

Setelah mempelajari materi "Fluida" diharapkan Anda dapat merumuskan hukum dasar fluida statik dan menerapkan hukum dasar fluida statik pada masalah fisika sehari-hari. Selain itu Anda diharapkan dapat merumuskan hukum dasar fluida dinamik serta menerapkan hukum dasar fluida dinamik pada masalah fisika sehari-hari.





Berdasar wujud zat, terdapat zat padat, zat cair, dan zat gas. Di antara ketiga wujud zat tersebut ternyata zat cair dan zat gas dapat mengalir.

Zat yang dapat mengalir disebut fluida.

Dalam pembahasan ini, kita kelompokkan dalam dua kelompok yaitu fluida diam (fluida statis) dan fluida bergerak (fluida dinamis).

## A. FLUIDA DIAM (FLUIDA TIDAK MENGALIR)

Fluida tidak mengalir berupa zat cair dalam wadah yang tidak bocor atau gas dalam wadah tertutup.

### 1. Tekanan

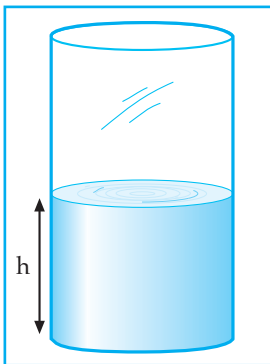
Tekanan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Jika gaya sebesar  $F$  bekerja secara merata dan tegak lurus pada suatu permukaan yang luasnya  $A$ , maka tekanan  $P$  pada permukaan itu:

$$P = \frac{F}{A}$$

Suatu tekanan dalam S.I adalah  $\text{N/m}^2$  yang disebut pascal (Pa).

### 2. Tekanan Hidrostatik

Tekanan di dalam fluida yang diakibatkan oleh gaya gravitasi disebut tekanan hidrostatik.



Gambar 7.1  
Tekanan hidrostatik

Gambar 7.1 melukiskan suatu zat cair setinggi  $h$  dengan massa jenis  $\rho$  berada dalam wadah berbentuk silinder dengan luas penampang  $A$ .

Tekanan yang diterima oleh dasar wadah disebabkan gaya gravitasi yang bekerja pada tiap bagian zat cair, yaitu berupa berat zat cair yang berada di atas dasar wadah.

Berdasar konsep tekanan maka tekanan hidrostatik  $P_h$  yang bekerja pada dasar wadah dinyatakan dengan:

$P_h = \frac{F}{A} \rightarrow F$  menyatakan berat zat cair di atas dasar wadah ( $F = W = \rho \cdot V \cdot g$ )

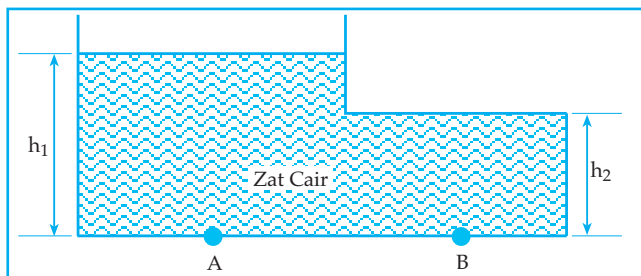
$$P_h = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} \rightarrow \frac{V}{A} = h$$

$$P_h = \rho \cdot h \cdot g$$

$P_h$  = tekanan hidrostatik ( $\text{N/m}^2$ )  
 $\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{Kg/m}^3$ )  
 $h$  = kedalaman zat cair (m)  
 $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Dari persamaan  $P_h = \rho \cdot g \cdot h$  didapat bahwa besar tekanan hidrostatik itu bergantung pada kedalaman zat cair.

Berdasar hukum pokok hidrostatik menyatakan "semua titik yang terletak pada suatu bidang datar di dalam suatu zat cair memiliki tekanan yang sama".



Gambar 7.2 Hukum pokok hidrostatik

Dari gambar 7.2, karena titik A dan titik B terletak pada dasar bejana yang berisi zat cair dengan massa jenis  $\rho$  dan ketinggian permukaan dari dasar bejana  $= h_1$ , maka tekanan di titik A sama dengan tekanan di titik B.

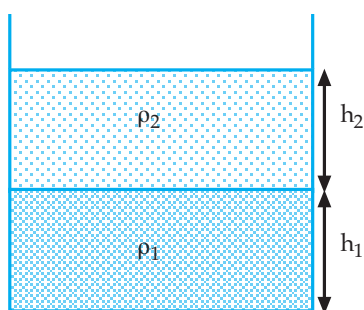
$$P_A = P_B = \rho \cdot g \cdot h_1 \rightarrow h_1 = \text{ketinggian permukaan zat cair dalam bejana}$$

#### Contoh Soal 7.1

Sebuah tabung yang luas penampangnya  $10 \text{ cm}^2$ , diisi raksa setinggi  $10 \text{ cm}$  dan air setinggi  $50 \text{ cm}$  dari permukaan raksa. Jika massa jenis raksa  $13,6 \text{ gr/cm}^3$ , massa jenis air  $1 \text{ gr/cm}^3$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka hitunglah:

- tekanan hidrostatik pada dasar tabung
- gaya hidrostatik dalam tabung

*Penyelesaian*



Diketahui :

$$\begin{aligned}
 A &= 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 h_1 &= 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m} \\
 h_2 &= 50 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-1} \text{ m} \\
 \rho_1 &= 13,6 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_2 &= 1 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 10^3 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Ditanya : a)  $P_h$       b)  $F_h$

Jawab:

a)  $P_h = P_1 + P_2$

$$P_h = \rho_1 \cdot h_1 \cdot g + \rho_2 \cdot h_2 \cdot g$$

$$P_h = 13,6 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3$$

$$P_h = 18,6 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

b)  $F_h = P_h \cdot A$

$$F_h = 18,6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}$$

$$F_h = 18,6 \text{ N}$$

### Kegiatan 7.1

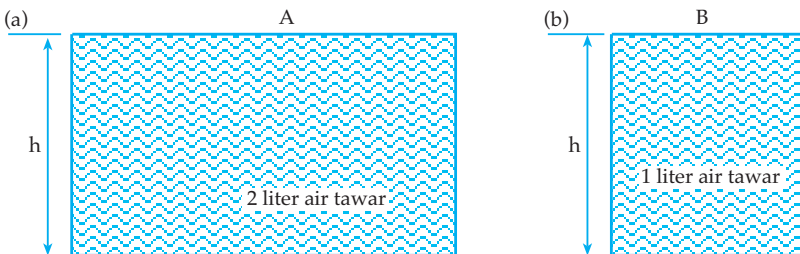
Diskusikan bersama teman-teman Anda permasalahan di bawah ini.

1. Bagi penyelam pemula, mencari mutiara dan kerang di laut dapat terjadi pendarahan melalui hidung atau telinga.

Mengapa demikian? Jelaskan!

2. Jika kita berada dalam kedalaman yang sama di dalam air laut dan di dalam air tawar, mana yang lebih besar tekanan hidrostatik yang kita alami? Jelaskan!

3.

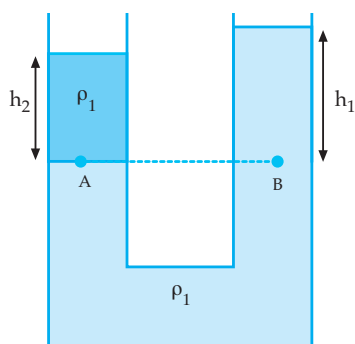


- Bejana A dengan tinggi  $h$  terisi penuh dengan air tawar dengan massa jenis  $\rho$ .
- Bejana B dengan tinggi  $h$  terisi penuh dengan air tawar dengan massa jenis  $\rho$ .

Bagaimanakah besar tekanan hidrostatik pada dasar bejana A dan dasar bejana B? Jelaskan!

4. a. Tekanan udara di atas permukaan air laut = 76 cm Hg. Jika massa jenis raksa =  $13,6 \text{ gr/cm}^3$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka tekanan 76 cm Hg = ...  $\text{N/m}^2$ .  
b. Jika massa jenis air laut =  $1,4 \text{ gr/m}^3$ , maka besar tekanan di dalam air laut tersebut pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan air laut saat itu = ...  $\text{N/m}^2$ .

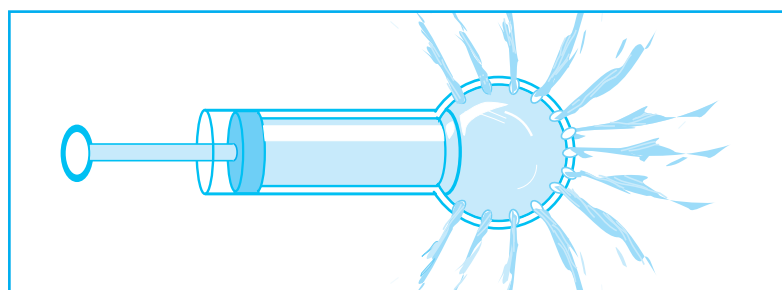
5.



Gambar di samping melukiskan sebuah pipa U mula-mula diisi dengan zat cair dengan massa jenis  $\rho_1$ , setelah kaki kiri pipa U diisi dengan zat cair dengan massa jenis  $\rho_2$  setinggi  $h_2$ , ternyata selisih tinggi permukaan zat cair pertama pada kaki kiri dan kaki kanan setinggi  $h_1$ . Berdasarkan hukum utama hidrostatik, buktikan bahwa:

$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$

### 3. Hukum Pascal



Gambar 7.3 Alat penyemprot Pascal

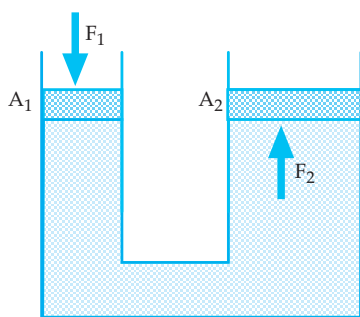
Gambar 7.3 melukiskan bahwa jika klep penyumbat pada alat penyemprot pascal ditekan ternyata zat cair yang berada di dalam alat penyemprot Pascal keluar melalui lubang dengan kecepatan yang sama. Hal tersebut menyatakan bahwa "tekanan yang diberikan pada zat cair yang berada di dalam ruang tertutup akan diteruskan oleh zat cair itu ke segala arah dengan sama rata".

### Kegiatan 7.2

Diskusikan hal-hal berikut bersama kelompok Anda!

1. Sebutkan 3 alat yang bekerja berdasarkan hukum Pascal!

2.



Gambar di samping melukiskan bejana berhubungan diisi dengan zat cair dan ditutup dengan klep. Jika pada penampang kecil dengan luas  $A_1$  diberi gaya  $F_1$ , maka penampang besar dengan luas  $A_2$ , mendapat gaya  $F_2$ .

Berdasarkan hukum Pascal, buktikan bahwa  $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$  !

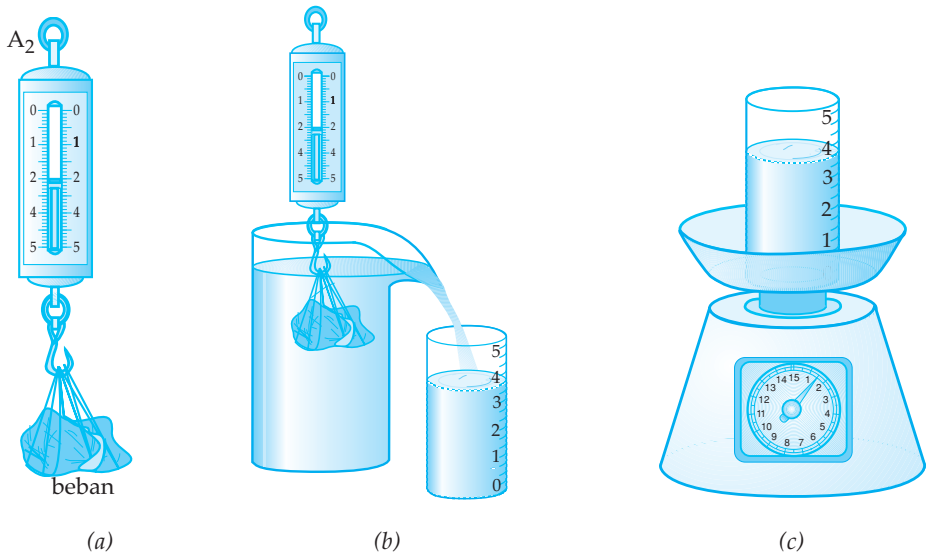
#### 4. Hukum Archimides

Jika kita mengangkat benda di dalam zat cair, terasa lebih ringan dibanding jika kita mengangkat benda tersebut di udara.

Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat benda tersebut berada di dalam zat cair mendapat gaya ke atas yang disebut *gaya archimides*.

Seberapa besar gaya archimides tersebut? Lakukan percobaan berikut!

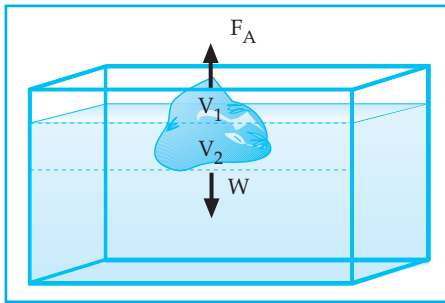
##### Percobaan 7.1: Gaya archimides



Ukurlah berat beban dengan neraca pegas di udara (gambar (a)) dan catatlah hasilnya,  $W_u = \dots$  Newton. Ukurlah berat beban dengan neraca pegas di mana beban di dalam air dalam gelas berpancur (gambar (b)) dan catatlah hasilnya,  $W_a = \dots$  Newton. Ukurlah berat air yang tumpah pada gelas ukur dengan neraca duduk (gambar (c)) dan catatlah hasilnya,  $W = \dots$  Newton. Masukkan data-data yang Anda dapatkan di atas dalam tabel. Adapun kolom-kolom pada tabel yang dibuat adalah: Berat benda di udara, Berat benda di air ( $W_a$ ), Berat air yang dipindahkan benda ( $W$ ), dan  $W_u - W_a$ . Buatlah kesimpulan dari percobaan di atas!

Catatan: selisih berat benda di udara dan berat benda di air sama dengan gaya archimides yang dialami benda di air.

Berdasarkan hukum archimides, " Benda di dalam zat cair baik sebagian ataupun seluruhnya akan mengalami gaya ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut."



$$F_A = \rho \cdot V_c \cdot g$$

$F_A$  = gaya archimides (gaya ke atas)

$V_c$  = volume zat cair yang dipindahkan benda

$\rho$  = massa jenis zat cair

$g$  = percepatan gravitasi

Gambar 7.4 Gaya archimides

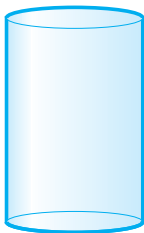
Catatan:

- Volum zat cair yang dipindahkan oleh benda sebesar volum benda yang masuk ke dalam zat cair.
- Dalam keadaan seimbang  $F_A = W$   
 $W$  = berat benda

### Percobaan 7.2: Gaya Archimides



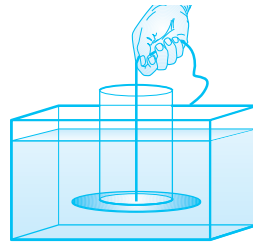
Siapkan tabung kaca yang terbuka pada kedua ujungnya, tutup yang diikat dengan benang, dan air dalam wadah secukupnya.



(a)



(b)



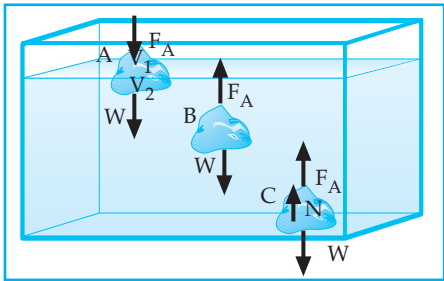
(c)

Langkah-langkah:

Tutuplah ujung bawah tabung kaca dengan penutup dan tahanlah dengan memegang ujung benang yang bebas beberapa saat. Kemudian lepaskan ujung tali yang Anda pegang. Apa yang terjadi dengan penutup?

Ulangi kegiatan paragraf dua, kemudian masukkan tabung kaca yang tertutup ke dalam wadah yang berisi air, kemudian lepaskan ujung benang yang Anda pegang. Apa yang terjadi dengan penutup? Dalam keadaan (b) isilah tabung kaca dengan air melalui ujung atas sampai sesaat tutup akan lepas dan perhatikan tinggi air dalam tabung sampai saat tutup akan lepas. Berapakah tinggi air dalam tabung kaca? Apa kesimpulan Anda?

Dengan adanya gaya ke atas (gaya archimides) yang bekerja pada benda yang berada di dalam zat cair, maka ada 3 kemungkinan keadaan benda di dalam zat cair, yaitu mengapung, melayang, atau tenggelam.



Gambar 7.5

$$F_A = W$$

$$\rho_c \cdot V_2 \cdot g = \rho_b \cdot V_b \cdot g \rightarrow \rho_c = \text{massa jenis zat cair}$$

$$\rho_c \cdot V_2 = \rho_b \cdot V_b \qquad \rho_b = \text{massa jenis benda}$$

$$V_2 = \text{volum benda yang tercelup di dalam zat cair}$$

$$V_b = \text{volum benda}$$

Karena  $V_2 < V_b$  maka  $\rho_c > \rho_b$

Dengan demikian syarat benda terapung dalam zat cair jika  $\rho_c > \rho_b$

Dari analogi di atas, buktikan syarat dari:

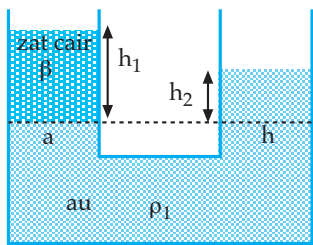
a) benda melayang di dalam zat cair jika  $\rho_c = \rho_b$

b) benda tenggelam di dalam zat cair jika  $\rho_c < \rho_b$

### Contoh Soal 7.2

1. Pada sebuah pipa U mula-mula dimasukkan air, kemudian pada kaki kiri pipa U dimasukkan lagi suatu zat cair setinggi 20 cm yang menyebabkan tinggi permukaan air pada kaki kanan pipa U lebih tinggi 16 cm terhadap permukaan air yang ada pada kaki kiri pipa U. Jika massa jenis air = 1 gr/cm<sup>3</sup>, maka berapakah massa jenis zat cair tersebut?

Penyelesaian



Diketahui:  $h_1 = 16 \text{ cm}$  ;  $h_2 = 20 \text{ cm}$  ;  $\rho_1 = 1 \text{ gr/cm}^3$

Ditanya:  $\rho_2$

Jawab:

$$P_a = P_b$$

$$\rho_2 \cdot h_2 = \rho_1 \cdot h_1$$

$$\rho_2 \cdot 20 = 1 \cdot 16$$

$$\rho_2 = 0,8 \text{ gr/cm}^3$$

2. Sebuah dongkrak hidrolik mempunyai dua buah torak yang masing-masing luas penampangnya  $25 \text{ cm}^2$  dan  $45 \text{ cm}^2$ . Pada torak yang kecil diberi gaya sebesar  $200 \text{ N}$  ke bawah. Berapakah gaya yang bekerja pada torak yang besar?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $A_1 = 25 \text{ cm}^2$ ;  $A_2 = 45 \text{ cm}^2$ ;  $F_1 = 200 \text{ N}$

Ditanya:  $F_2$

Jawab :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{200}{25} = \frac{F_2}{45}$$

$$F_2 = 360 \text{ N}$$

3. Sebuah kempa hidrolik dengan jari-jari penampang torak kecil dan besar yang berbanding sebagai 1: 4. Jika pada torak besar diletakkan beban sebesar  $800 \text{ N}$ , maka berapakah gaya minimum yang harus diberikan pada torak kecil agar benda itu dapat terangkat?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $r_1 : r_2 = 1 : 4$  atau  $r_2 = 4r_1$

$$F_2 = 800 \text{ N}$$

Ditanya:  $F_1$

Jawab:

$$\frac{F_1}{r_1^2} = \frac{F_2}{r_2^2}$$

$$\frac{F_1}{r_1^2} = \frac{800}{16r_1^2}$$

$$F_1 = 50 \text{ N}$$

## Uji Pemahaman 7.1

### Kerjakan soal berikut!

1. Segumpal es terapung di air dan ternyata volum es yang berada di udara  $10 \text{ cm}^3$  maka jika massa jenis air  $= 1 \text{ gr/m}^3$  dan massa jenis es  $= 0,9 \text{ gr/m}^3$ , berapakah volum es keseluruhannya?
2. Sebuah benda pada saat ditimbang di udara beratnya  $11 \text{ N}$  dan setelah ditimbang dalam zat cair beratnya menjadi  $9,5 \text{ N}$ . Hitunglah gaya Archimides yang bekerja pada benda tersebut?



## 5. Adhesi dan Kohesi

Pada dasarnya antara partikel bermassa yang satu dengan yang lain terjadi tarik-menarik. Tiap benda terdiri atas partikel-partikel di mana antarpartikel terjadi tarik-menarik yang disebut *Kohesi*.

Kita dapat menuliskan kapur pada papan tulis karena adanya gaya tarik-menarik antara partikel-partikel kapur dan partikel-partikel papan tulis yang disebut *Adhesi*.

Jadi yang dimaksud kohesi adalah ....

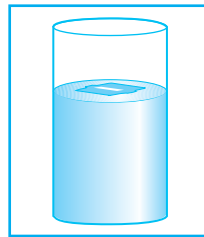
Yang dimaksud adhesi adalah ....

## 6. Tegangan Permukaan



(Sumber: Ensiklopedi Indonesia seri Fauna Serangga, 1996)

(a)



(b)

Gambar 7.5

Gambar 7.5 (a) : seekor serangga dapat hinggap di atas permukaan air dan tidak tenggelam

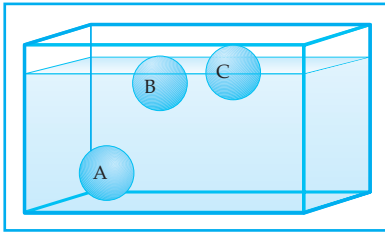
Gambar 7.5 (b) : sebuah silet yang diletakkan secara perlahan-lahan di atas permukaan air dapat terapung.

Apakah massa jenis serangga atau massa jenis silet lebih kecil dari massa jenis air? Tentu tidak! Sebab jika kita masukkan sedikit saja ke bawah permukaan air tentu silet akan tenggelam. Mengapa hal tersebut terjadi?

Gejala-gejala di atas menunjukkan adanya sesuatu yang menahan permukaan air (zat cair) untuk tidak memperluas permukaannya, atau adanya kecenderungan zat cair untuk memperkecil luas permukaannya. Sesuatu yang menahan permukaan zat cair dikenal sebagai *tegangan permukaan*. Bagaimana tegangan permukaan tersebut dapat terjadi? Hal tersebut dapat dijelaskan dengan teori molekul. Sebagaimana zat-zat lain, zat cair terdiri atas molekul-molekul yang satu terhadap yang lainnya mempunyai jarak dan terjadi tarik-menarik.

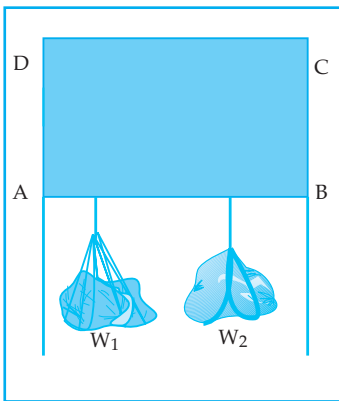
Gaya tarik-menarik antara molekul yang sejenis disebut *kohesi*. Gaya tarik menarik antara molekul yang tidak sejenis disebut *adhesi*.

Kohesi antarmolekul berbanding terbalik dengan jaraknya, sehingga tiap molekul mempunyai daerah tarikan (atraksi) pada jarak tertentu.



Gambar 7.6 Gaya tarik-menarik antarmolekul

segala arah dengan bebas. Molekul B pada bagian atas, daerah tarikannya kosong, sehingga jumlah komponen gaya tarikan ke atas lebih kecil dibanding resultan gaya tarik ke bawah. Molekul C terdapat di permukaan, mendapat gaya tarikan dari molekul-molekul yang berada di bawahnya saja. Dengan demikian molekul yang berada di permukaan mendapat gaya yang arahnya ke bawah. Gaya resultan ini menyebabkan permukaan zat cair menjadi tegang. Ketegangan permukaan ini disebut tegangan permukaan. Adanya tegangan permukaan ini menyebabkan permukaan zat cair menuju ke keadaan yang luas permukaannya terkecil. Luas permukaan zat cair terkecil bila dalam keadaan mendatar. Untuk itulah permukaan zat cair pada umumnya mendatar. Karena memahami konsep tegangan permukaan secara kuantitatif perhatikan percobaan di bawah ini!



Gambar 7.7 Tegangan permukaan

Besarnya gaya yang bekerja pada permukaan zat cair tiap satuan panjang didefinisikan sebagai tegangan permukaan. Jika pada suatu permukaan zat cair sepanjang  $L$  bekerja gaya sebesar  $F$  tegak lurus pada  $L$  dan  $\tau$  menyatakan tegangan permukaan zat cair, maka diperoleh:

$$\tau = \frac{F}{L}$$

$F$  = dalam newton  
 $L$  = dalam meter  
 $\tau$  = dalam N/m

Pada percobaan di atas (Gambar 7.7) ada dua permukaan selaput sabun yang menahan kawat AB, yaitu selaput bagian depan dan selaput bagian

belakang, sehingga jika panjang kawat  $AB = L$ , maka tegangan permukaan pada selaput sabun tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

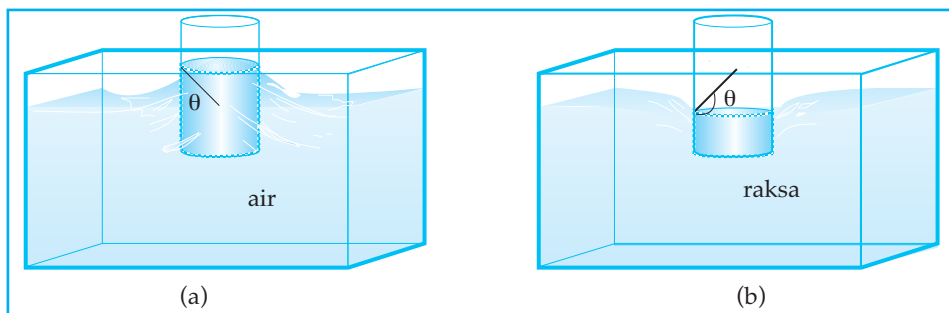
$$\tau = \frac{F}{2L}$$

Dalam hal ini:  $F = W_1 + W_2$

## 7. Kapilaritas

Suatu pipa yang berlubang kecil disebut sebagai pipa kapiler. Pipa yang lubangnya bergaris tengah kurang dari 1 mm sudah dapat dianggap sebagai pipa kapiler.

Apa yang terjadi jika pipa kapiler dimasukkan ke dalam zat cair? Untuk itu perhatikan gambar 7.8 berikut.



Gambar 7.8 Pipa kapiler dalam air dan raksa

Gambar 7.8 (a) : Pipa kapiler dimasukkan ke dalam air, ternyata permukaan air di dalam pipa kapiler lebih tinggi dari permukaan air di luar pipa kapiler. Hal tersebut disebabkan adhesi air dengan kaca lebih besar dibandingkan dengan kohesi antarmolekul air.

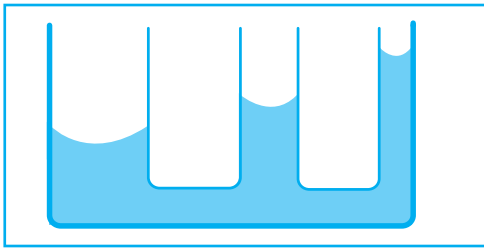
Gambar 7.8 (b) : Pipa kapiler dimasukkan ke dalam raksa, ternyata permukaan raksa dalam pipa kapiler lebih rendah dari permukaan raksa di luar pipa kapiler. Hal tersebut disebabkan kohesi raksa lebih besar dibanding adhesi raksa dengan kaca.

Gejala naik turunnya permukaan zat cair dalam pipa kapiler (pembuluh sempit) disebut *kapilaritas*. Dari gejala kapilaritas tersebut diperoleh:

a. Jika adhesi  $>$  kohesi, maka:

- 1) sudut kontak ( $\theta$ )  $< 90^\circ$ ;
- 2) bentuk permukaan zat cair dalam pipa kapiler cekung (miniskus cekung);
- 3) zat cair dikatakan membasahi pipa kapiler;

- 4) ketinggian permukaan zat cair dalam beberapa pipa kapiler yang berhubungan sebagai berikut.

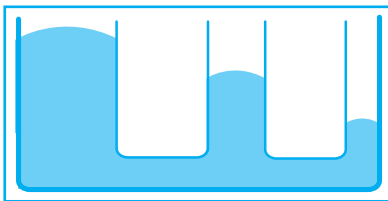


Gambar 7.9

Permukaan air dalam beberapa pipa kapiler

- b. Jika kohesi > adhesi, maka:

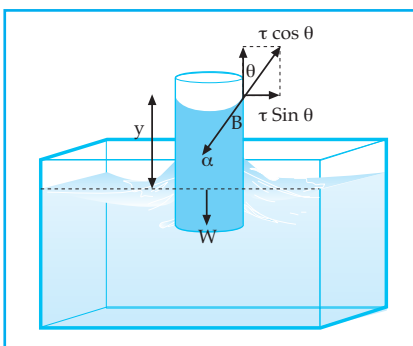
- 1) sudut kontak ( $\theta$ ) >  $90^\circ$ ;
- 2) bentuk permukaan zat cair dalam pipa kapiler cembung (minikus cembung);
- 3) zat cair dikatakan tidak membasahi pipa kapiler;
- 4) ketinggian permukaan zat cair dalam beberapa pipa kapiler yang berhubungan sebagai berikut.



Gambar 7.10

Permukaan raksa dalam beberapa pipa kapiler

Sudut kontak ( $\theta$ ) antara zat cair dengan dinding adalah sudut antara permukaan zat cair dengan permukaan dinding pada titik persentuhan zat cair dengan dinding. Perbedaan tinggi permukaan zat cair dalam pipa kapiler dapat dihitung sebagai berikut.



Gambar 7.11 Pipa kapiler dalam zat cair

Perhatikan gambar 7.11 di samping. Misalnya sebuah pipa kapiler dengan jari-jari  $r$  dimasukkan dalam zat cair sehingga permukaan zat cair dalam pipa kapiler naik setinggi  $y$  dengan sudut kontak  $\theta$ . Permukaan zat cair dalam pipa kapiler menyentuh dinding pipa sepanjang keliling lingkaran sebesar  $2\pi r$ . Pada setiap satuan panjang permukaan zat cair tersebut bekerja tegangan permukaan  $\tau$  yang arahnya ke atas. Jika tegangan permukaan diuraikan menjadi komponen mendatar dan vertikal diperoleh: komponen mendatar sebesar  $\tau \sin \theta$  yang saling meniadakan dan komponen vertikal  $\tau \cos \theta$  yang masih berpengaruh. Dengan demikian pada seluruh keliling permukaan zat cair bekerja gaya tegangan permukaan zat cair ( $F$ ) sebesar:  $F = 2\pi \cdot r \cdot \tau \cdot \cos \theta$ .

Gaya sebesar  $F$  inilah yang mengangkat zat cair setinggi  $y$ . Dalam keadaan setimbang gaya  $F$  ini diimbangi oleh berat zat cair yang terangkat setinggi  $y$  tersebut, sehingga diperoleh:

$$F = W$$

$$2\pi \cdot r \cdot \tau \cdot \cos \theta = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^2 \cdot y$$

Jadi 
$$\gamma = \frac{2\tau \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

$\gamma$  = perbedaan tinggi permukaan zat cair di dalam dan di luar pipa kapiler (m)

$\tau$  = tegangan permukaan (N/m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

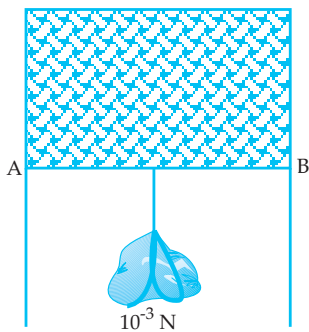
$\theta$  = sudut kontak

$r$  = jari-jari penampang pipa kapiler (m)

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )

### Contoh Soal 7.3

1.



Gambar di samping melukiskan suatu kawat berbentuk U yang ditutup dengan kawat AB yang dapat bergerak bebas yang kemudian dimasukkan ke dalam larutan sabun. Setelah kawat diangkat dari larutan sabun ternyata kawat dapat setimbang setelah pada kawat digantungkan beban seberat  $10^{-3}$  N, jika panjang kawat AB = 10 cm dan berat kawat AB =  $5 \cdot 10^{-4}$  N, berapakah besar tegangan permukaan selaput sabun tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $W_{AB} = 5 \cdot 10^{-4}$  N

AB = 10 cm =  $10^{-1}$  m

$W_b = 10^{-3}$  N =  $10 \cdot 10^{-4}$  N

Ditanya:  $\tau$

Jawab:

$$\tau = \frac{F}{2L}$$

$$\tau = \frac{W_{AB} + W_b}{2AB}$$

$$\tau = \frac{15 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-1}}$$

$$\tau = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

2. Sebuah pipa kapiler dimasukkan ke dalam bak berisi minyak tanah. Tegangan permukaan minyak tanah =  $10^{-4}$  N/m. Jari-jari pipa kapiler = 1 mm. Jika massa jenis minyak tanah =  $0,8 \text{ gr/m}^3$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , serta sudut kontakanya  $20^\circ$ , maka hitunglah kenaikan permukaan minyak tanah dalam pipa kapiler!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $\tau = 10^{-4} \text{ N/m}$

$$r = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho = 0,8 \text{ gr/m}^3 = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = 20^\circ$$

Ditanya:  $Y$

Jawab:

$$Y = \frac{2 \cdot \tau \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

$$Y = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 20^\circ}{800 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

## 8. Viskositas

Pada dasarnya fluida dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu fluida ideal dan fluida sejati. Fluida ideal akan dibicarakan tersendiri dalam mekanika fluida.

Fluida sejati adalah fluida yang kompresibel, mempunyai kekentalan atau viskositas tertentu sehingga terjadi gesekan apabila bersinggungan dengan zat lain. Dengan memperhatikan sifat-sifat dari fluida sejati akan kita pelajari gejala-gejala yang terjadi.

Percobaan Stokes:

Stokes melakukan percobaan dengan cara melepaskan sebuah bola ke dalam fluida. Dari hasil percobaan, Stokes memberikan suatu hukum tentang besarnya gaya penahan/gaya penghambat fluida terhadap gerak bola akibat adanya gesekan antara permukaan bola dengan fluida.

Besar gaya gesek fluida/gaya Stokes itu adalah:

$$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

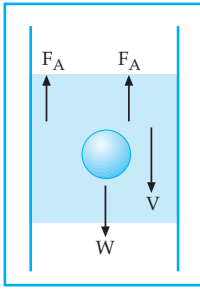
Hukum Stokes

$F$  = gaya stokes (newton)

$r$  = jari-jari bola (m)

$\eta$  = koefisien kekentalan/kekentalan fluida (N.det/m<sup>2</sup>)

$v$  = kecepatan relatif bola terhadap fluida (m/s)



Gambar 7.12  
Gaya stokes

Gambar 7.12 di samping melukiskan, sebuah bola baja dengan jari-jari  $r$  dilepaskan tanpa kecepatan awal ke dalam suatu fluida sejati. Gaya-gaya yang bekerja pada bola selama bergerak dalam fluida tersebut, antara lain:

- Gaya Archimides :  $F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_o \cdot g$
- Gaya Stokes :  $F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$
- Gaya berat bola :  $W = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g$

Gerak bola mula-mula gerak lurus dipercepat. Karena nilai gaya stokes bertambah besar, maka pada suatu saat terjadi kesetimbangan gaya sehingga bola bergerak lurus beraturan dengan suatu kecepatan tertentu.

Dalam keadaan kesetimbangan gaya tersebut didapat:

$$F_A + F = W$$

$$F = W - F_A$$

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g \cdot (\rho - \rho_o)$$

$$v = \frac{2 \cdot r^3 \cdot g}{9\eta} (\rho - \rho_o)$$

$\rho$  = massa jenis benda

$\rho_o$  = massa jenis fluida

## Uji Pemahaman 7.2

### Kerjakan soal berikut!

1. Sebuah bejana berbentuk kubus dengan panjang rusuk 10 cm diisi dengan air sebanyak 0,8 liter. Jika massa jenis air  $1 \text{ gr/cm}^3$ , hitunglah:
  - a. tekanan hidrostatik pada titik kedalaman 6 cm dari permukaan air
  - b. tekanan hidrostatik pada dasar bejana
  - c. gaya hidrostatik pada dasar bejana!
2. Sebuah dongkrak hidrolik digunakan untuk mengangkat salah satu sisi bagian mobil seberat 200 N pada bagian penampang yang besar. Untuk mengangkat bagian mobil tersebut diberikan gaya sebesar 4 N pada pengisap kecil. Berapakah perbandingan jari-jari pengisap kecil dan pengisap besar?
3. Sebuah benda bila berada di udara beratnya 10 N, bila dimasukkan ke dalam air beratnya seolah-olah menjadi 4 N dan bila dimasukkan ke dalam zat cair lainnya beratnya seolah-olah menjadi 2 N. Jika massa jenis air =  $1 \text{ gr/cm}^3$ , berapakah massa jenis zat tersebut?

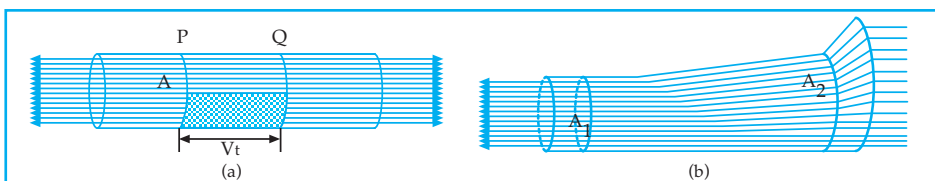
4. Sebuah benda dengan massa 200 gram terapung di air yang massa jenisnya  $1 \text{ gr/cm}^3$ . Jika 0,6 bagian benda tersebut terbenam dalam air, hitunglah:
  - a. volum benda
  - b. volum seluruh benda
  - c. gaya ke atas yang dialami benda!
5. Sebuah balon udara dengan menggunakan gas helium dirancang untuk mampu membawa beban 1000 kg, termasuk massa balon beserta alat-alatnya. Berapakah seharusnya volum minimum balon jika massa jenis udara  $1,3 \text{ kg/m}^3$  dan massa jenis helium  $0,2 \text{ kg/m}^3$ ?

## B. FLUIDA BERGERAK

Fluida dikatakan bergerak (mengalir) jika fluida itu bergerak secara terus-menerus (kontinu) terhadap posisi sekitarnya.

Ada dua macam aliran pada fluida mengalir, yaitu aliran *streamline* dan *turbulent*.

- a. Aliran garis arus (*streamline*), yaitu aliran yang mengikuti suatu garis lurus atau melengkung yang jelas ujung dan pangkalnya. Jadi, aliran tiap partikel yang melalui suatu titik dengan mengikuti garis yang sama seperti partikel-partikel yang lain yang melalui titik itu. Arah gerak partikel-partikel pada aliran garis arus disebut garis arus.
- b. Aliran turbulent, yaitu aliran berputar atau aliran yang arah gerak partikel-partikelnya berbeda bahkan berlawanan dengan arah gerak fluida secara keseluruhan.



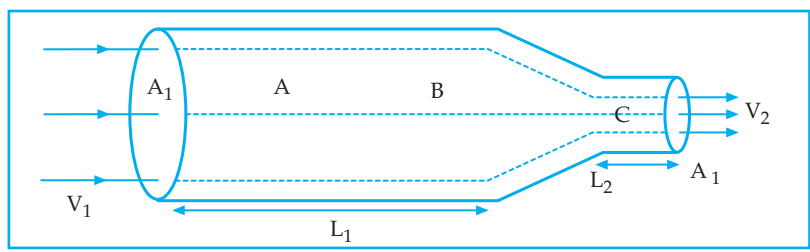
Gambar 7.13 Aliran fluida

Pada pembahasan tentang fluida yang bergerak, kita batasi pada fluida ideal. Pengertian fluida ideal adalah fluida yang tidak kompresible, bergerak dengan tanpa gesekan dan aliran arusnya streamline (stasioner).

- Tidak kompresible : volum tidak berubah karena pengaruh tekanan
- Tanpa mengalami gesekan : pada saat fluida itu mengalir gesekan antara fluida dan dinding diabaikan
- Aliran stasioner : tiap-tiap partikel mempunyai garis alir tertentu dan untuk luas penampang yang sama akan mempunyai kecepatan yang sama.



1. Persamaan Kontinuitas



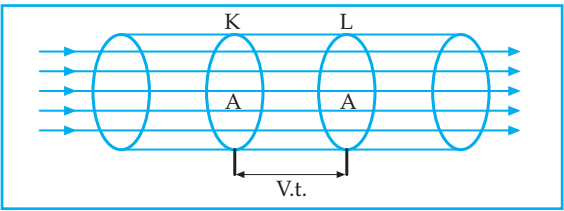
Gambar 7.14 Aliran fluida stasioner

Aliran fluida dalam tabung Gambar 7.14 menggambarkan aliran fluida secara stasioner, sehingga tiap partikel fluida dalam tabung yang melewati titik A akan menempuh lintasan dari partikel yang mendahuluinya yang juga melewati titik A tersebut. Lintasan itu dinamakan garis alir atau garis arus. Misalnya pada gambar 7.14 di atas terdapat 3 gambaran garis alir atau garis arus. Jika luas penampang lintang tabung tidak sama, kecepatan partikel fluida itu juga berubah sepanjang garis arusnya. Akan tetapi pada satu titik tertentu dalam tabung, kecepatan setiap partikel fluida itu senantiasa sama. Partikel yang pada suatu saat ada di A kemudian pada saat berikutnya ada di B, bergerak dengan arah dan kecepatan yang berlainan dan akhirnya sampai di C dengan arah dan kecepatan yang lain lagi. Fluida yang mengalir melalui kolom dengan luas penampang  $A_1$  dalam pembuluh sepanjang  $L_1$ , sampai ke kolom dengan luas penampang  $A_2$  berkecepatan  $V_2$  dalam pembuluh sepanjang  $L_2$  maka berlaku persamaan kontinuitas.

"Cepat alir (debit aliran) pada setiap detik (kedudukan) dalam suatu pembuluh dari fluida yang mengalir adalah konstan".

Cepat aliran atau debit aliran adalah banyaknya fluida yang mengalir per satuan waktu.

Untuk memahami hal tersebut, perhatikan gambar 7.15 di bawah ini!



Gambar 7.15 Aliran fluida melalui pembuluh

Gambar 7.15 di atas melukiskan suatu fluida yang mengalir melalui suatu pembuluh yang luas penampangnya sama yaitu sebesar  $A$ , dengan kecepatan sebesar  $v$ . Jika pada suatu saat fluida berada pada penampang  $K$  dan setelah  $t$  detik kemudian berada di penampang  $L$ , maka dalam waktu  $t$  tersebut banyaknya fluida yang telah mengalir adalah  $v \cdot t \cdot A$ , sehingga persamaan kontinuitas dapat dinyatakan secara matematis:  $v \cdot A = \text{konstan}$  atau

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

$v$  = kecepatan aliran (m/s)  
 $A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

Jika pembuluhnya berupa silinder, sehingga penampangnya berbentuk lingkaran, maka:  $A = \pi \cdot r^2$  sehingga persamaan kontinuitas dapat pula dinyatakan dengan:  $v_1 \cdot r_1^2 = v_2 \cdot r_2^2$ .

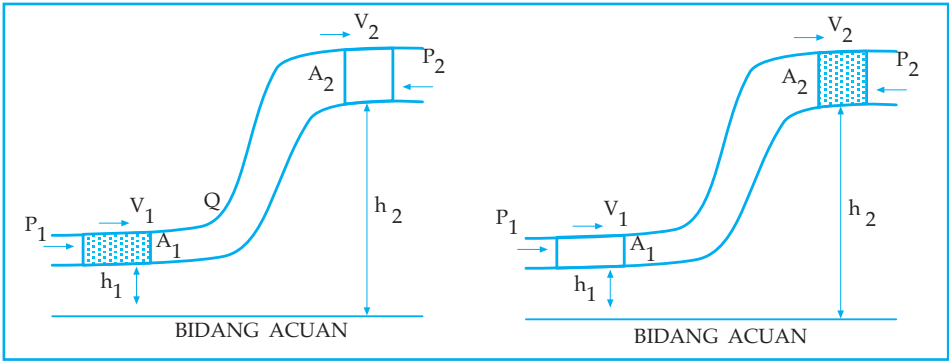
Dari definisi tersebut maka persamaan debit aliran dapat juga dinyatakan dengan:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$V$  = volum (m<sup>3</sup>)  
 $t$  = waktu (sekon)  
 $Q$  = debit aliran (m<sup>3</sup>/s)

## 2. Asas Bernoulli

Asas Bernoulli merupakan asas dalam pembahasan fluida bergerak. Asas Bernoulli melukiskan hubungan antara tekanan, kecepatan dan tinggi dalam suatu garis lurus.



Gambar 7.16 Asas Bernoulli

Gambar 7.16 di atas menggambarkan suatu arus stasioner yang mengalir dari tempat I ke tempat II. Kita tinjau dua sampel fluida dari fluida yang mengalir pada tempat I ke tempat II yang volumenya sama dan bergerak dalam selang waktu yang sama. Volum masing-masing sampel adalah  $V$  dengan selang waktu  $t$ .

Pada tempat I:

tinggi =  $h_1$   
 kecepatan aliran =  $v_1$   
 tekanan =  $P_1$   
 luas penampang =  $A_1$   
 gaya =  $F_1$

Pada tempat II:

tinggi =  $h_2$   
 kecepatan aliran =  $v_2$   
 tekanan =  $P_2$   
 luas penampang =  $A_2$   
 gaya =  $F_2$

Misalkan fluida sebatas dari penampang  $A_1$  sampai penampang  $A_2$  kita anggap suatu sistem maka diperoleh:

- usaha yang dilakukan terhadap sistem oleh  $F_1$  dapat dinyatakan:

$$W_1 = F_1 \cdot v_1 \cdot t = P_1 \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot t$$

- usaha total yang dilakukan oleh sistem oleh  $F_2$  dapat dinyatakan:

$$W_2 = -F_2 \cdot v_2 \cdot t = -P_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot t$$

Dengan demikian usaha total yang dilakukan oleh fluida dari penampang  $A_1$  hingga penampang  $A_2$  dapat dinyatakan:

$$W = W_1 + W_2$$

$$W = P_1 \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot t - P_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot t \dots\dots\dots (1)$$

Demikian juga dari penampang  $A_1$  ke  $A_2$  terjadi perubahan energi mekanik sebesar:

$$\Delta E_m = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$\Delta E_m = (\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2) + (m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1) \dots\dots\dots (2)$$

Menurut hukum kekekalan energi (tenaga gerak dan usaha) diperoleh:

$$W = E_m$$

$$P_1 \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot t - P_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot t = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

$$P_1 \cdot V - P_2 \cdot V = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot m/V \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m/V \cdot v_1^2 + m/V \cdot g \cdot h_2 - m/V \cdot g \cdot h_1$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 - \rho \cdot g \cdot h_1$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Persamaan tersebut di atas disebut persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli dapat juga dinyatakan dengan:

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstan}$$

$P$  = tekanan ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$v$  = kecepatan aliran ( $m/s$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = ketinggian pipa diukur dari bidang acuan ( $m$ )

Pada persamaan Bernoulli terdapat beberapa hal yang istimewa antara lain sebagai berikut.

1. Pada fluida tak bergerak

Dalam hal ini  $v_1 = v_2 = 0$  sehingga diperoleh persamaan:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g (h_2 - h_1)$$

Persamaan ini adalah bentuk lain dari persamaan yang menyatakan tekanan hidrostatik dalam zat cair.

2. Untuk fluida yang bergerak dengan ketinggian yang sama, dalam hal ini  $h_2 = h_1$ , diperoleh persamaan:

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 = \text{tetap}$$

Hal ini berarti bahwa di tempat yang lajunya besar tekanannya kecil dan sebaliknya.

### Contoh Soal 7.4

1. Pipa mendatar berisi penuh air yang mengalir. Titik K dan L berada dalam pipa. Di titik K luas penampangnya 2 kali luas penampang di titik L. Jika kecepatan aliran di titik K = 2 m/s, hitunglah kecepatan aliran di titik L!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $A_1 = 2A_2$ ;  $v_1 = 2$  m/s

Ditanya:  $v_2$

Jawab:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$2 A_2 \cdot 2 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = 4 \text{ m/s}$$

2. Pada pipa mendatar mengalir air penuh. Titik P dan Q di dalam pipa tersebut. Penampang di titik P berjari-jari 1 cm dan penampang di titik Q berjari-jari 4 cm. Jika kecepatan aliran di titik Q = 1 m/s, berapakah kecepatan aliran di titik P?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $r_1 = 1$  cm ;  $r_2 = 4$  cm ;  $v_2 = 1$  m/s

Ditanya:  $v_1$

Jawab:

$$v_1 \cdot r_1^2 = v_2 \cdot r_2^2$$

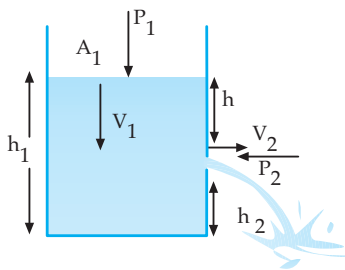
$$v_1 \cdot 1 = 1 \cdot 16$$

$$v_1 = 16 \text{ m/s}$$

### Kegiatan 7.3

Diskusikan hal-hal berikut bersama kelompok Anda!

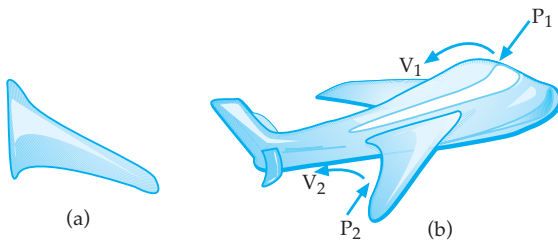
1.



Gambar di samping melukiskan sebuah bejana berisi zat cair setinggi  $h_1$ . Pada jarak  $h_2$  dari dasar bejana terdapat lubang kecil kebocoran, sehingga zat cair terpancar melalui lubang tersebut. Jika lubang kebocoran kecil dibanding lebar permukaan zat cair dalam bejana, maka kecepatan gerak turun permukaan zat cair dapat diabaikan ( $V_1 = 0$ ).

Jika  $P_1$  dan  $P_2$  menyatakan tekanan udara luar, maka buktikan bahwa kecepatan keluarnya zat cair melalui lubang kebocoran ( $V_2$ ):  $V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

2.



Gambar (a) menyatakan bagian melintang sayap pesawat terbang

Gambar (b) menyatakan pesawat terbang yang sedang terbang

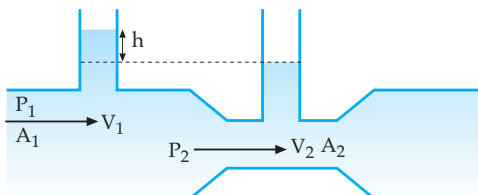
Pada saat pesawat terbang sedang terbang pada suatu ketinggian, maka tinggi bagian bawah sayap dan bagian atas sayap dari tanah dianggap sama ( $h_1 = h_2$ ).

Selama pesawat terbang, maka kecepatan angin dan tekanan udara di bawah sayap dinyatakan dengan  $v_2$  dan  $P_2$ , sedangkan kecepatan angin dan tekanan udara di atas sayap dinyatakan dengan  $v_1$  dan  $P_1$ .

Jika massa jenis udara =  $\rho$ , buktikan bahwa pesawat terbang dapat terbang karena adanya daya angkat sayap pesawat yang dinyatakan dengan:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

3.



Gambar di atas disebut venturimeter, yaitu alat untuk mengukur kecepatan gerak fluida cair.

Karena venturimeter dalam keadaan mendatar, maka  $h_1 = h_2$ . Berdasarkan azas Bernoulli dan hukum utama hidrostatik, buktikan bahwa:

- a) tekanan zat cair pada penampang besar ( $P_1$ ) lebih besar dibandingkan dengan tekanan zat cair pada penampang kecil ( $P_2$ )

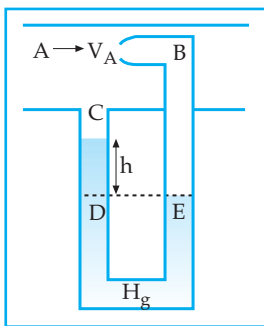
$$P_1 > P_2$$

- b) selisih tekanan  $P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h$

$\rho$  = massa jenis zat cair

$h$  = selisih tinggi permukaan zat cair dalam pipa kapiler di atas penampang besar dan penampang kecil

## Informasi



Gambar 7.17 di samping melukiskan bagan dari pipa pitot, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan fluida gas di dalam tabung atau pipa. Sebuah monometer terbuka dihubungkan dengan pipa yang dilewati fluida dengan cara seperti pada gambar 7.17 di samping. Kecepatan fluida pada pipa utama =  $v$ . Pada saat keadaan sudah setimbang, bila ditinjau keadaan di titik A dan B, kecepatan di titik B = 0. Karena pipa mendatar, maka  $h_A = h_B$ .

Gambar . 7.17 Pipa pitot

Sehingga persamaan Bernoulli menjadi:

$$P_B = P_A + \frac{1}{2} \cdot \rho f \cdot v_A^2$$

$$P_B - P_A = \frac{1}{2} \cdot \rho f \cdot v_A^2 \dots\dots\dots (1)$$

Menurut hukum utama hidrostatik:

$$P_D = P_A + \rho f \cdot g \cdot h_{AC} + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD} \dots\dots\dots (2)$$

$$P_E = P_B + \rho f \cdot g \cdot h_{BE} \dots\dots\dots (3)$$

$$P_E - P_D = P_B - P_A + \rho f \cdot g \cdot h_{BE} - \rho f \cdot g \cdot h_{AC} - \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD}$$

$$P_E - P_D + \rho f \cdot g \cdot h_{AC} + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD} - \rho f \cdot g \cdot h_{BE} = P_B - P_A$$

$$0 + \rho f \cdot g \cdot (h_{AC} - h_{BE}) + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD} = P_B - P_A$$

$$\rho f \cdot g \cdot (-h_{CD}) + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD} = P_B - P_A$$

$$\rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{CD} - \rho f \cdot g \cdot h_{CD} = P_B - P_A$$

$$(\rho_{Hg} - \rho f) g \cdot h_{CD} = P_B - P_A \dots\dots\dots (4)$$

(1)(4):  $(\rho_{Hg} - \rho f) g \cdot h = \frac{1}{2} \rho f \cdot v_A^2$

- $v_A$  = kecepatan aliran fluida di titik A (m/s)  
 $\rho_f$  = massa jenis fluida yang mengalir (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_{Hg}$  = massa jenis raksa (kg/m<sup>3</sup>)  
 $h$  = perbedaan tinggi permukaan raksa (m)

### Contoh Soal 7.5

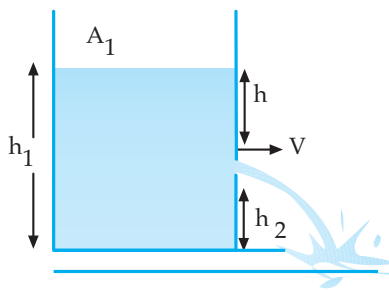
- Sebuah drum yang dalamnya 6,25 m terisi penuh dengan air, dan berada di lantai mendatar. Pada dinding drum pada ketinggian 1,25 m dari dasar drum terdapat lubang kebocoran yang kecil sekali, sehingga air memancar keluar dari lubang tersebut. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:
  - kecepatan air pertama kali yang keluar dari lubang kebocoran
  - jarak mendatar terjauh pertama kali yang dicapai air pada lantai!

*Penyelesaian*

Diketahui:  $h_1 = 6,25 \text{ m}$  ;  $h_2 = 1,25 \text{ m}$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya: a.  $v$                       b.  $X_1$

Jawab :



a.  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}$

$v = \sqrt{20(6,25 - 1,25)}$

$v = 10 \text{ m/s}$

b.  $Y_t = v_o \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \rightarrow Y_t = -h_2$

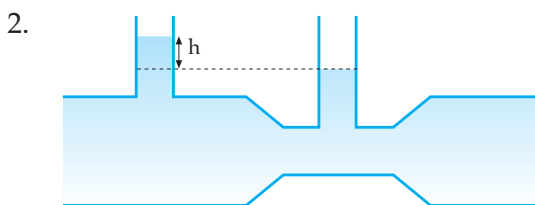
$-1,25 = 0 - 5t^2 \quad \alpha = 0^\circ$

$t = 0,5 \text{ sekon}$

$X_t = v_o \cdot \cos \alpha \cdot t \rightarrow v_o = v = 10 \text{ m/s}$

$X_t = 10 \cdot 1 \cdot 0,5$

$X_t = 5 \text{ m}$



Melalui pipa venturi seperti gambar di samping, mengalir air sehingga selisih tinggi permukaan air pada kedua pembuluh sempit yang dipasang pada pipa venturi adalah 5 cm. Jika luas penampang

besar dan kecil pada pipa venturi masing-masing  $100 \text{ cm}^2$  dan  $10 \text{ cm}^2$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$  serta massa jenis air  $1 \text{ gr/m}^3$ , hitunglah:

- perbedaan tekanan di titik pada penampang besar dan kecil
- kecepatan air yang masuk ke pipa venturi

*Penyelesaian*

Diketahui:  $h = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

$$A_1 = 100 \text{ cm}^2; \rho = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$A_2 = 10 \text{ cm}^2$$

Ditanya: a)  $P_1 - P_2$       b)  $v_1$

Jawab :

a)  $P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h$

$$P_1 - P_2 = 1.000 \cdot 5 = 5000 \text{ dyne/cm}^2$$

b)

$$v_2^2 = \frac{2 \cdot A_1^2 (P_1 - P_2)}{\rho (A_1^2 - A_2^2)}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{100.000.000}{9900}} = 100,5 \text{ cm/s}$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_1 = \frac{1005}{100}$$

$$v_1 = 10,05 \text{ cm/s}$$

3. Jika kecepatan udara di bagian bawah pesawat terbang yang sedang terbang 60 m/s dan tekanan ke atas yang diperoleh pesawat adalah  $10 \text{ N/m}^2$ , hitunglah kecepatan aliran udara di bagian atas pesawat! ( $\rho_{\text{udara}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$ )

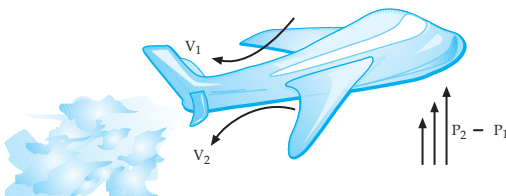
*Penyelesaian*

Diketahui:  $P_1 - P_2 = 10 \text{ N/m}^2; h_1 = h_2$

$$v_2 = 60 \text{ m/s}; \rho_u = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya:  $v_1$

Jawab :



$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$\frac{1}{2}\rho(v_1^2 + v_2^2) = P_1 - P_2$$

$$v_1^2 = v_2^2 + \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

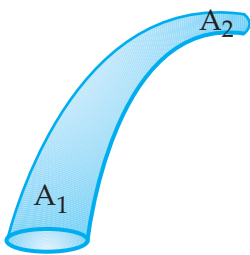
$$V_1 = \sqrt{3615,5} = 60,13 \text{ m/s}$$



### Uji Pemahaman 7.3

#### Kerjakan soal berikut!

1. Sebuah pipa mendatar di dalamnya penuh dengan air yang mengalir. Perbandingan penampang pada titik A dan B dalam pipa adalah 2 : 9. Jika kecepatan aliran air di titik B = 3 m/s. Berapakah kecepatan aliran air di titik A?
2. Sebuah pipa yang mendatar di dalamnya penuh dengan air yang mengalir. Luas penampang, kecepatan, dan tekanan di titik A masing-masing  $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ , 1,5 m/s, dan  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ . Luas penampang di titik B adalah  $12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ . Hitunglah tekanan air di titik B?
3. Sebuah bejana yang lebar berisi air. Pada jarak 1,25 m dari permukaan air terdapat lubang kebocoran kecil pada dinding bejana. Bila kecepatan turunnya air dapat diabaikan, hitunglah:
  - a. kecepatan air yang keluar dari lubang kebocoran pertama kali
  - b. volum air yang keluar per detik, jika luas penampang lubang  $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , ketika permukaan air masih 1,25 m di atas lubang ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
  - c. jarak terjauh yang dicapai air ketika jatuh pertama kali di lantai jika jarak lubang ke dasar bejana (lantai) = 1,25 m!
4. Sebuah pesawat mendapat tekanan ke atas  $20 \text{ N/m}^2$  dan kecepatan aliran udara di bagian atas pesawat 40 m/s. Berapakah kecepatan aliran udara di bawah pesawat?



Pada pipa tergambar di samping, di bagian penampang I berdiameter 12 cm dan tekanan  $4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Penampang II mempunyai berdiameter 8 cm dengan ketinggian 8 cm lebih tinggi dari penampang I. Jika fluida yang mengalir adalah minyak ( $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ) dengan debit 60 liter/sekon maka hitunglah tekanan di penampang II!

## Rangkuman

- Tekanan hidrostatik:  $P_h = \rho \cdot g \cdot h$ .
- Hukum utama hidrostatik: titik-titik yang terletak pada bidang datar dalam zat cair mempunyai tekanan hidrostatik yang sama.
- Hukum Pascal: tekanan yang diberikan pada zat cair dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dengan sama besar.
- Gaya Archimedes:  $F_A = \rho \cdot v_c \cdot g$ .

- Adhesi adalah gaya tarik-menarik antara partikel-partikel tidak sejenis.
- Kohesi adalah gaya tarik-menarik antara partikel-partikel sejenis.
- Tegangan permukaan:  $\sigma = \frac{F}{L}$
- Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler.

$$y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

- Viskositas zat cair adalah kekentalan zat cair.
- Persamaan kontinuitas aliran:  $A \cdot v = \text{konstan}$ .
- Debit aliran:  $Q = A \cdot v$
- Persamaan Bernaulli:  $P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konstan}$

## KATA KUNCI

- Tekanan hidrostatik
- Gaya Archimides
- Adhesi
- Kohesi
- Tegangan permukaan
- Kapilaritas
- Sudut kontak
- Viskositas
- Gaya stokes
- Koefisien kekentalan
- Streamline
- Turbulent
- Kompresible
- Aliran stasioner
- Kontinuitas



## JI KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Segumpal es dalam keadaan terapung di laut. Volum seluruhnya  $5150 \text{ dm}^3$ . Massa jenis es =  $0,9 \text{ kg/dm}^3$ , massa jenis air laut =  $1,03 \text{ kg/dm}^3$ . Volum es yang menonjol di atas permukaan air laut adalah ....
  - a.  $550 \text{ dm}^3$
  - b.  $600 \text{ dm}^3$
  - c.  $650 \text{ dm}^3$
  - d.  $700 \text{ dm}^3$
  - e.  $750 \text{ dm}^3$
2. Titik A dan B berada dalam air. Kedalaman titik A dan B dari permukaan air masing-masing  $10 \text{ cm}$  dan  $40 \text{ cm}$ . Perbandingan tekanan hidrostatik di titik A dan titik B adalah ....
  - a.  $1 : 5$
  - b.  $4 : 1$
  - c.  $3 : 2$
  - d.  $1 : 4$
  - e.  $1 : 1$
3. Suatu kubus dari kayu dengan rusuk  $10 \text{ cm}$  massa jenisnya  $0,6 \text{ gr/m}^3$ , pada bagian bawahnya digantungkan sepotong besi yang volumenya  $31,25 \text{ cm}^3$  dengan cara mengikat dengan benang. Ternyata, semuanya melayang dalam minyak yang massa jenisnya  $0,8 \text{ gr/m}^3$ . Massa jenis besi sebesar ....
  - a.  $7,8 \text{ gr/cm}^3$
  - b.  $7,6 \text{ gr/cm}^3$
  - c.  $7,4 \text{ gr/cm}^3$
  - d.  $7,2 \text{ gr/cm}^3$
  - e.  $7,0 \text{ gr/cm}^3$
4. Suatu pipa U mula-mula diisi dengan raksa yang massa jenisnya  $13,6 \text{ gr/cm}^3$ , kemudian pada kaki kanan dituangkan air  $7,6 \text{ cm}$  dengan massa jenisnya  $1 \text{ gr/cm}^3$  lalu di atas air ini dituangkan minyak dengan massa jenis  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ . Ternyata, dalam keadaan setimbang selisih tinggi permukaan air raksa pada kedua kaki  $1 \text{ cm}$ . Tinggi lajur minyak adalah ....
  - a.  $7,5 \text{ cm}$
  - b.  $10 \text{ cm}$
  - c.  $15 \text{ cm}$
  - d.  $20 \text{ cm}$
  - e.  $25 \text{ cm}$
5. Sebuah batu dicelupkan ke dalam alkohol yang massa jenisnya  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ . Volum batu  $100 \text{ cm}^3$  maka gaya tekan ke atas yang dirasakan oleh batu jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  adalah ....
  - a.  $72400 \text{ dyne}$
  - b.  $73400 \text{ dyne}$
  - c.  $754 \text{ dyne}$
  - d.  $77400 \text{ dyne}$
  - e.  $78400 \text{ dyne}$
6. Sepotong emas dengan massa  $50 \text{ gram}$  dicelupkan dalam minyak tanah yang massa jenisnya  $0,8 \text{ gr/cm}^3$  mendapat gaya ke atas  $0,04405 \text{ N}$ . Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka massa jenis emas tersebut adalah ....
  - a.  $8900 \text{ kg/m}^3$
  - b.  $9400 \text{ kg/m}^3$
  - c.  $9600 \text{ kg/m}^3$
  - d.  $9800 \text{ kg/m}^3$
  - e.  $9900 \text{ kg/m}^3$

7. Sebuah benda dengan massa 5 kg dan volum  $4 \text{ dm}^3$  dimasukkan seluruhnya ke dalam minyak yang massa jenisnya  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ . Gaya ke atas yang dialami oleh benda tersebut sebesar ....
  - a. 8 N
  - b. 16 N
  - c. 24 N
  - d. 32 N
  - e. 40 N
8. Sebuah benda di udara beratnya 5 N, kemudian dimasukkan seluruhnya ke dalam air yang mempunyai massa jenis  $1 \text{ gr/cm}^3$  dan ternyata melayang dalam air. Besarnya gaya ke atas yang dialami benda adalah ....
  - a. 1 N
  - b. 2 N
  - c. 4 N
  - d. 5 N
  - e. 10 N
9. Sebuah bejana berisi dua macam zat cair yang tidak dapat bercampur. Masing-masing massa jenisnya  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  dan  $0,8 \text{ gr/cm}^3$  dan keduanya mempunyai ketinggian yang sama yaitu 20 cm. Tekanan hidrostatik pada dasar bejana sebesar ....
  - a.  $1600 \text{ N/m}^2$
  - b.  $2400 \text{ N/m}^2$
  - c.  $3600 \text{ N/m}^2$
  - d.  $4000 \text{ N/m}^2$
  - e.  $6000 \text{ N/m}^2$
10. Sebuah tangki berisi air setinggi 2,5 m. Pada dasar tangki tersebut terdapat lubang kecil sehingga air memancar dari lubang tersebut. Kecepatan air yang keluar dari lubang adalah ....
  - a. 5 m/s
  - b. 6 m/s
  - c.  $5\sqrt{2} \text{ m/s}$
  - d.  $\sqrt{5} \text{ m/s}$
  - e.  $2\sqrt{5} \text{ m/s}$
11. Fluida adalah ....
  - a. zat yang mempunyai bentuk tetap
  - b. zat yang tidak mempunyai ketegaran
  - c. zat yang tidak dapat mengalir
  - d. zat yang hanya dapat mengalir jika terdapat perbedaan tinggi permukaan
  - e. zat yang dapat berwujud padat, cair dan gas
12. Kekentalan zat cair disebut juga dengan istilah ....
  - a. viskositas
  - b. konstanta air
  - c. kapilaritas
  - d. tegangan permukaan
  - e. miniskus
13. Dalam satu garis alir dalam suatu fluida diperoleh ....
  - a. kecepatan partikel-partikel fluida sama
  - b. pada suatu titik kecepatan partikel-partikel fluida sama
  - c. suatu bentuk lintasan yang lurus
  - d. kecepatan partikel-partikel fluida yang membesar
  - e. kecepatan partikel-partikel fluida yang mengecil
14. Azas Bernoulli dalam fluida bergerak menyatakan hubungan antara ....
  - a. tekanan, massa jenis dan suhu
  - b. tekanan, kecepatan dan massa jenis
  - c. tekanan hidrostatik dan kontinuitas aliran
  - d. daya angkat pesawat terbang dan kecepatan fluida
  - e. tekanan, kecepatan dan kedudukan

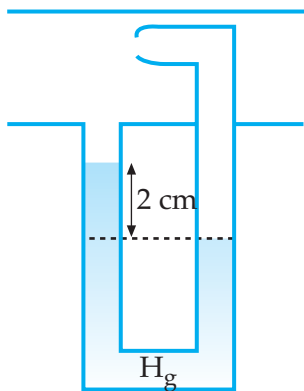
15. Dalam sebuah pipa mendatar mengalir air dengan debit  $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Pada penampang  $10 \text{ cm}^2$  bertekanan  $2 \text{ dyne/cm}^2$ . Tekanan air pada pipa yang penampangnya  $5 \text{ cm}^2$  adalah ...  $\text{dyne/cm}^2$ .  
 a. 0,5                      d. 3,5  
 b. 1,5                      e. 3  
 c. 2,5
16. Suatu tekanan yang dapat menahan suatu kolam air setinggi 60 cm dapat menahan kolam cairan garam setinggi 50 cm. Dapat disimpulkan rapat massa cairan garam (dalam  $\text{kg/m}^3$ ) adalah ....  
 a. 12000                      d. 1,2  
 b. 120                      e. 1200  
 c. 12
17. Minyak mengalir melalui sebuah pipa bergaris tengah 8 cm dengan kecepatan rata-rata 3 m/s. Cepat aliran dalam pipa sebesar ....  
 a.  $15,1 \text{ m}^3/\text{s}$                       d.  $1,51 \text{ m}^3/\text{s}$   
 b.  $15,1 \text{ liter/s}$                       e.  $1,51 \text{ liter/s}$   
 c.  $151 \text{ liter/s}$
18. Alat pengukur tekanan menunjukkan bahwa tekanan di lantai dasar gedung bertingkat adalah  $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Dengan demikian air dalam salah satu pipa pada bangunan tersebut akan mencapai ketinggian ....  
 a. 30,6 m                      d. 36,6 m  
 b. 30 m                      e. 3,60 m  
 c. 36 m
19. Debit air yang keluar dari pipa yang luas penampangnya  $4 \text{ cm}^2$  sebesar  $100 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Kecepatan air yang keluar dari pipa tersebut adalah ....  
 a.  $25 \text{ m/s}$                       d.  $4 \text{ m/s}$   
 b.  $2,5 \text{ m/s}$                       e.  $0,4 \text{ m/s}$   
 c.  $0,25 \text{ m/s}$
20. Luas total sayap sebuah pesawat terbang  $18 \text{ m}^2$ . Udara mengalir pada bagian atas sayap dengan kecepatan 50 m/s pada bagian bawah sayap 40 m/s. Jika massa jenis udara =  $1,29 \text{ kg/m}^3$ , maka berat pesawat adalah ....  
 a. 10449 N                      d. 90144 N  
 b. 14049 N                      e. 40149 N  
 c. 19044 N

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

1. Sebuah drum silinder yang berjari-jari penampang 50 cm dengan penampang atas terbuka berisi minyak tanah setinggi 80 cm. Jika massa jenis minyak =  $0,8 \text{ gr/cm}^3$  dan tekanan udara di luar sebesar 1 atmosfer, hitunglah:  
 a. tekanan yang dialami oleh dasar drum  
 b. tekanan hidrostatik pada titik yang berada 10 cm dari dasar drum!
2. Sebuah kompa hidrolik mempunyai pengisap kecil dengan diameter 20 cm dan pengisap besar dengan diameter 0,5 m. Jika kita akan mengangkat benda pada pengisap besar sebesar 0,5 kuintal, berapakah gaya minimum yang harus kita berikan pada pengisap kecil agar benda dapat terangkat?

3. Sebuah pipa kapiler kaca dimasukkan ke dalam bak berisi air. Ternyata permukaan air dalam pipa kapiler naik setinggi 4 cm. Jika jari-jari pipa kapiler 2 mm, sudut kontak yang terjadi dalam pipa kapiler  $60^\circ$  dan massa jenis air  $1 \text{ gr/cm}^3$ , berapakah tegangan permukaan air tersebut?
4. Sebutir telur dengan massa 62,5 gram dimasukkan ke dalam suatu larutan yang massa jenisnya  $1 \text{ gr/cm}^3$  dan ternyata telur dalam keadaan melayang. Hitunglah:
  - a. volum telur
  - b. gaya Archimides yang dialami oleh telur!
5. Sebuah perahu dengan massa 100 ton. Berapa  $\text{m}^3$  sekurang-kurangnya volum bagian perahu yang ada di bawah air jika perahu berlayar di dalam:
  - a. air tawar yang massa jenisnya  $1000 \text{ kg/m}^3$
  - b. air laut yang massa jenisnya  $1030 \text{ kg/m}^3$ !
6. Sebuah pipa mendatar di dalamnya penuh minyak yang mengalir. Kecepatan aliran minyak di titik K dan L dalam pipa tersebut berturut-turut  $0,25 \text{ m/s}$  dan  $4 \text{ m/s}$ . Berapakah perbandingan diameter penampang pada titik K dan L?
7. Debit air yang melalui sebuah lubang yang terletak 8 m di bawah permukaan air pada sebuah bak yang luasnya adalah  $50 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Hitunglah debit air melalui lubang tersebut, jika di atas permukaan air diberi tambahan tekanan  $2 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ !

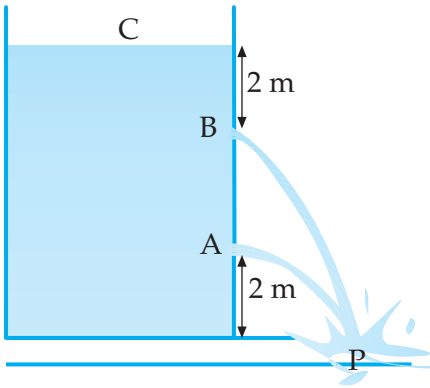
8.



Gambar di samping adalah sebuah pipa pilot dan melalui pilot tersebut dialirkan suatu fluida sehingga menyebabkan perbedaan tinggi raksa pada monometer 2 cm. Massa jenis raksa adalah  $13,6 \text{ gr/cm}^3$ . Hitunglah kecepatan fluida tersebut jika:

- a. fluida yang mengalir gas karbondioksida ( $\rho = 1,98 \text{ gr/cm}^3$ )
- b. fluida yang mengalir gas oksigen ( $\rho = 1,43 \text{ gr/cm}^3$ )!

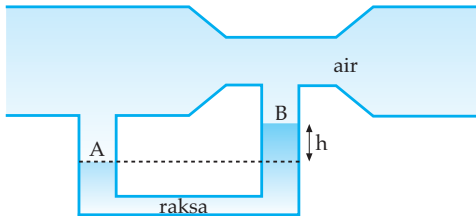
9.



Sebuah bak air setinggi 20 m, di sisi bak dibuat 2 buah lubang yang masing - masing berjarak 2 m dari permukaan dan dasar bak. Buktikan bahwa air yang dipancarkan dari A dan B akan jatuh di tanah pada tempat yang sama? Berapakah jarak tempat air jatuh ke bak?

( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )

10.



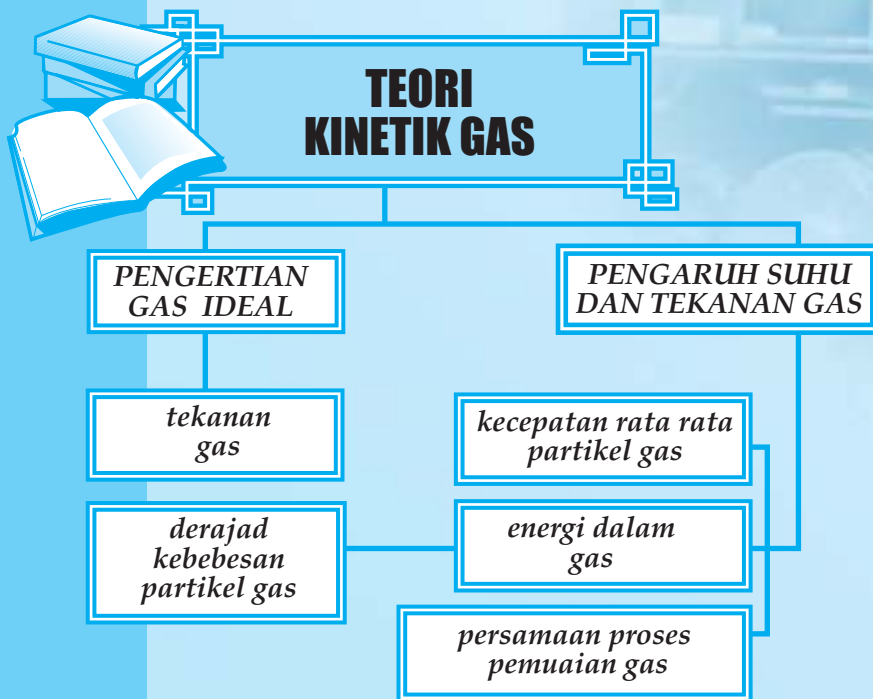
Sebuah pipa seperti gambar di samping terdapat air yang mengalir. Luas penampang di A =  $0,4 \text{ cm}^2$  dan luas penampang di B =  $0,1 \text{ cm}^2$ . Dari pipa keluar air  $20 \text{ cm}^3$  tiap detik.

- Tentukan kecepatan air pada tiap-tiap penampang A dan B!
- Tentukan selisih tinggi permukaan raksa di pipa U tersebut!
- Tentukan selisih tekanan di penampang A dan B!

# 8

## TEORI KINETIK GAS

Setelah mempelajari materi "Teori Kinetik Gas" diharapkan Anda dapat memahami pengertian gas ideal, mendeskripsikan persamaan umum gas ideal serta mampu menerapkan persamaan umum gas ideal pada proses isotermik, isokhorik, dan isobarik.





## A. PENGERTIAN GAS IDEAL

Berdasar teori partikel zat, dinyatakan bahwa zat terdiri atas partikel-partikel yang bergetar pada kedudukan setimbangnya. Partikel-partikel tersebut dapat berupa atom atau molekul. Pada zat gas, partikel-partikelnya bergerak bebas karena hampir tidak ada gaya tarik-menarik antarpartikel. Jadi, kadang terjadi benturan antarpartikel dan sering berbenturan dengan tempatnya.

Menurut teori partikel, adanya tekanan gas di dalam ruangan tertutup disebabkan oleh benturan-benturan partikel gas pada dinding atau dengan kata lain tekanan gas pada ruang tertutup ditimbulkan oleh gerak partikel gas tersebut.

Untuk menyederhanakan perhitungan matematika, maka yang dimaksud dengan gas dalam teori kinetik adalah gas ideal dengan beberapa anggapan-anggapan dasar. Melalui sifat-sifat yang dimiliki oleh gas ideal diharapkan orang dapat menaksir sifa-sifat gas yang ada sebenarnya (gas sejati) dalam batas-batas tertentu.

Dari segi pandangan mikroskopi didefinisikan suatu gas ideal dengan membuat anggapan-anggapan sebagai berikut:

- a) gas ideal terdiri atas partikel-partikel yang jumlahnya banyak sekali;
- b) partikel-partikel tersebut tersebar merata ke seluruh ruangan;
- c) partikel-partikel tersebut senantiasa bergerak yang arahnya sembarang;
- d) jarak antara partikel jauh lebih besar dari ukuran partikel sehingga ukuran partikel diabaikan;
- e) tidak ada gaya antara partikel satu dengan yang lain kecuali bila tumbukan
- f) tumbukan partikel dengan dinding tempat atau dengan partikel lain dianggap lenting sempurna; serta
- g) mengikuti hukum newton tentang gerak.

## B. TEKANAN GAS

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa tekanan gas di dalam ruang tertutup disebabkan oleh benturan-benturan partikel gas pada dinding tempat gas berada.

Karena terkait dengan gerak partikel gas, faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi besar tekanan gas tersebut?

Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 8.1. Balon

Gambar 8.1 (a): sebuah balon sebelum ditiup

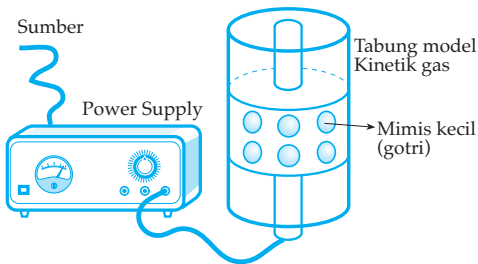
Gambar 8.1 (b): sebuah balon setelah ditiup.

Ternyata setelah balon ditiup menjadi besar dan mengeras. Semakin balon ditiup, keadaan balon semakin mengeras, yang berarti semakin banyak partikel gas (udara) yang berada di ruang tertutup semakin besar tekanan yang diberikan.

Jika balon yang sudah mengeras itu kita panaskan ternyata balon dapat meletus. Hal tersebut ada keterkaitannya antara tekanan gas dalam ruang tertutup dengan suhu.

Untuk lebih jelasnya lakukan percobaan di bawah ini.

**Percobaan:** Tekanan gas dalam ruangan tertutup



Rakitlah alat-alat seperti tampak pada gambar dan masukkan mimis kecil ke dalam tabung model kinetik gas sebanyak 10 butir. Hubungkan tabung model kinetik gas pada power supply dengan tegangan 6 volt. Setelah mimis-mimis kecil yang berada dalam tabung model kinetik gas bergerak dan memben-

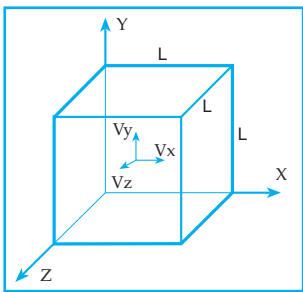
tur tutup penghisap yang bebas bergerak, amati tinggi tutup penghisap tersebut ( $h_1$ ). Cabut hubungan tabung model kinetik gas dengan power supply.

Hubungkan lagi tabung model kinetik gas dengan power supply dengan tegangan 12 volt dan amati lagi tinggi tutup penghisap ( $h_2$ ). Lebih tinggi manakah antara  $h_1$  dan  $h_2$ ? Cabut hubungan tabung model kinetik gas dengan power supply.

Tambahkan jumlah mimis kecil yang ada dalam tabung model kinetik gas menjadi 15 butir dan hubungkan lagi tabung model kinetik gas dengan power supply dengan tegangan 12 volt dan amati tinggi tutup penghisap ( $h_3$ ). Lebih tinggi manakah antara  $h_3$  dan  $h_2$ ? Dari hasil pengamatan kegiatan di atas, tuliskan kesimpulan yang Anda dapatkan!

Secara matematik bagaimanakah tekanan gas dalam ruang tertutup dapat diturunkan?

Perhatikan ulasan di bawah ini.



Gambar 8.2 Kubus berisi partikel

Gambar 8.2 melukiskan sebuah kubus dengan sisi  $L$  yang berisi  $N$  partikel gas.

Karena tiap partikel gas bergerak dengan arah sembarang dengan kecepatan yang tidak sama, maka dalam pembahasan kita ambil satu partikel gas dahulu yang bergerak dengan kecepatan  $v$ . Kecepatan ini kita uraikan menjadi tiga komponen masing-masing  $v_x$ ,  $v_y$  dan  $v_z$ .

Secara vektor  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$

Dalam hal ini kita bahas gerak partikel gas dalam arah sumbu x. Partikel tersebut akan menumbuk dinding kanan kedua kalinya dengan selang waktu:

$$t = \frac{2L}{v_x} \text{ sehingga tiap satuan waktu partikel menumbuk dinding kanan}$$

sebanyak  $\frac{v_x}{2L}$  kali.

Sebuah partikel yang massanya  $m_o$ , setiap kali menumbuk dinding kanan berubah momentumnya sebesar  $2m_o \cdot v_x$ .

Dengan demikian dalam tiap satuan waktu momentum partikel gas berubah sebesar:

$$\Delta P_x = \frac{v_x}{2L} (2m_o \cdot v_x)$$

$$\Delta P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{L}$$

Gaya yang diberikan partikel gas tiap satuan waktu pada saat menumbuk dinding sebesar perubahan momentum.

$$\text{Tekanan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas}}$$

$$P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{A \cdot L} \rightarrow A \cdot L = \text{volum ruang}$$

$$P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{V}$$

Dengan penalaran yang sama, diperoleh persamaan tekanan pada dinding yang tegak lurus sumbu y dan sumbu z sebagai berikut:

$$P_y = \frac{m_o \cdot v_y^2}{V} \text{ dan } P_z = \frac{m_o \cdot v_z^2}{V}$$

Berdasarkan hukum Pascal diperoleh:  $P_x = P_y = P_z = P$  yang berarti:  $v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$ .

Karena kecepatan tiap partikel tidak sama, maka diambil rata-ratanya sehingga diperoleh:

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$$

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$$

$$\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$$

$$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

sehingga:  $P = \frac{1}{3} \frac{m_o \cdot \bar{v}^2}{V}$

Jika di dalam kubus terdapat N partikel gas, maka tekanan gas dalam ruang tertutup dinyatakan dengan:

$$P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_o \cdot \bar{v}^2}{V}$$

P = tekanan gas

N = jumlah partikel gas

$m_o$  = massa tiap partikel gas

$\bar{v}^2$  = kuadrat rata-rata kecepatan partikel gas

V = volume gas (volume ruang tempat gas)

Karena massa tiap-tiap partikel gas sama, maka:

$$m_o \cdot \bar{v}^2 = 2 \left( \frac{1}{2} m_o \cdot \bar{v}^2 \right) = 2 \bar{E}_k$$

sehingga didapat persamaan:

$$P = \frac{2}{3} \frac{N \cdot \bar{E}_k}{V}$$

$\bar{E}_k$  = energi kinetik rata-rata partikel gas

Tekanan gas bergantung pada energi kinetik rata-rata partikel gas tersebut.

Dari persamaan  $P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_o \cdot \bar{v}^2}{V}$ , di mana:

$N \cdot m_o$  menyatakan massa total dari gas tersebut, sehingga  $\frac{N \cdot m_o}{V} = \rho$  (massa jenis gas)

diperoleh persamaan:  $P = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$

### Contoh Soal 8.1

1. Suatu gas dalam ruang tertutup dengan volum V dan suhu 27°C mempunyai tekanan  $1,5 \cdot 10^5$  Pa. Jika kemudian gas ditekan perlahan-lahan hingga volumenya menjadi  $\frac{1}{4}V$ , berapakah tekanan gas sekarang?

Diketahui :  $T_1 = (27 + 273)K = 300 K$

$$V_1 = V$$

$$V_2 = \frac{1}{4}V$$

$$P_1 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa (proses isotermik ditekan perlahan-lahan)}$$

Ditanya:  $P_2$

Jawab:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$1,5 \cdot 10^5 \cdot V = P_2 \cdot \frac{1}{4}V$$

$$P_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2. Suatu gas dalam ruang tertutup dengan suhu  $57^\circ\text{C}$ . Berapakah energi kinetik rata-rata gas tersebut?

Diketahui:  $T = (57 + 273)\text{K} = 330 \text{ K}$

Ditanya:  $E_k$

Jawab:

$$E_k = \frac{3}{2} K \cdot T = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 330$$

$$E_k = 6,831 \cdot 10^{-21} \text{ joule}$$

### Uji Pemahaman 8.1

**Kerjakan soal berikut!**

1. Suatu gas  $\text{H}_2$  volumenya  $0,6 \text{ m}^3$ , tekanan  $10^5 \text{ Pa}$  dan bermassa  $20 \text{ gr}$ . Berapakah kecepatan efektif partikel gas tersebut?
2. Dalam suatu kotak  $0,8 \text{ m}^3$  terdapat  $10^{18}$  partikel gas. Jika tekanan  $10^4 \text{ Pa}$  berapakah energi kinetik rata-rata partikelnya?

## C. SUHU DAN ENERGI KINETIK RATA-RATA PARTIKEL GAS

Dari hasil kegiatan dengan tabung model kinetik gas ternyata tekanan gas dipengaruhi oleh suhu gas dan volum gas juga dipengaruhi oleh suhu gas.

Berdasarkan hukum Gay-Lussac diperoleh:

1. Pemanasan gas pada tekanan tetap (Isobarik)

Volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlak gas:

$$\frac{V}{T} = \text{konstan}$$

2. Pemanasan gas pada volum tetap (isokhorik) tekanan gas berbanding lurus

dengan suhu mutlak gas  $\frac{P}{T} = \text{konstan}$

Berdasarkan hukum Boyle pada proses gas dengan suhu tetap diperoleh tekanan gas berbanding terbalik dengan volum gas

$$P \cdot V = \text{konstan}$$

Dari persamaan hukum Boyle dan Gay Lussac diperoleh:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$$

Pada dasarnya persamaan  $\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$  merupakan persamaan dari gas ideal yaitu:

$$\frac{P \cdot V}{T} = n \cdot R \quad \text{atau} \quad PV = nRT$$

$P$  = tekanan ( $\text{N}/\text{m}^2$ )                       $T$  = suhu mutlak gas (kelvin)

$V$  = volume gas ( $\text{m}^3$ )                       $R$  = konstanta gas

$n$  = jumlah mol gas                       $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$

Persamaan  $\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$  dapat juga dinyatakan dengan:

$$\frac{P \cdot V}{T} = N \cdot K \quad \text{atau} \quad P \cdot V = N \cdot K \cdot T$$

$N$  = jumlah partikel gas

$K$  = konstanta Boltzman

$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Jumlah mol gas dapat dihitung dengan persamaan:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_o}$$

$n$  = jumlah mol gas

$m$  = massa gas

$M$  = massa relatif partikel gas

$N$  = jumlah partikel gas

$N_o$  = bilangan Avogadro

$N_o = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ partikel/mol}$

Dari persamaan tekanan gas  $P = \frac{2}{3} \frac{N \cdot \bar{E}_K}{V}$  diperoleh:

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} \frac{P \cdot V}{N} = \frac{3}{2} \frac{N \cdot K \cdot T}{N}$$

$$\bar{E}_K = \frac{2}{3} K \cdot T$$

Dari persamaan tersebut ternyata energi kinetik rata-rata partikel sebanding dengan suhu mutlak gas.

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} K.T$$

$$\frac{1}{2} m_o \bar{v}^2 = \frac{3}{2} K.T$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3.K.T}{m_o}}$$

Kecepatan rata-rata partikel gas sebanding dengan akar dari suhu mutlak gas.

Akar dari kuadrat persamaan rata-rata disebut laju akar perata kuadrat

(*root mean square*) atau  $v_{RMS} = \sqrt{\bar{v}^2}$  disebut juga kecepatan efektif, sehingga:

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.K.T}{m_o}}$$

Dari persamaan gas ideal dan persamaan tekanan gas maka diperoleh:

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$$

## Kegiatan

Diskusikan dengan kelompok belajar Anda!

Buktikan bahwa:  $v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$

## D. DERAJAT KEBEBASAN SUATU PARTIKEL

Dari persamaan  $\bar{E}_K = \frac{3}{2} K.T$  maka jika terdapat N partikel gas, energi kinetik totalnya adalah:

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} N.K.T$$

Karena hampir tidak ada gaya tarik-menarik antara partikel gas, maka energi dalam gas tersebut (u) sama dengan energi kinetik total gas tersebut.

$$u = \frac{3}{2} N.K.T = \frac{3}{2} n.R.T$$

Persamaan tersebut berlaku untuk gas monoatomik (He, Ar, Ne)

Untuk gas diatomik ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ) diperoleh:

a) pada suhu rendah ( $\pm 300$  K):  $u = \frac{3}{2} N.K.T$

b) pada suhu sedang ( $\pm 500$  K):  $u = \frac{5}{2} N.K.T$

c) pada suhu tinggi ( $\pm 1000$  K):  $u = \frac{7}{2} N.K.T$

### Contoh Soal 8.2

Suatu gas monoatomik sebanyak 0,2 mol berada dalam ruang tertutup pada suhu  $47^\circ\text{C}$ . Berapakah energi dalam gas tersebut?

Diketahui:  $n = 0,2$  mol

$$T = (47 + 273)\text{K} = 320 \text{ K}$$

Ditanya:  $U$

Jawab :

$$u = \frac{3}{2} n.R.T = \frac{3}{2} 0,2 \cdot 8,31 \cdot 320 = 797,76 \text{ joule}$$

## Rangkuman

- Tekanan gas:  $P = \frac{1}{3} \frac{Nm_o v^2}{V}$
- Kecepatan rata-rata:  $v_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{3KT}{m_o}}$
- Energi kinetik rata-rata:  $E_k = \frac{3}{2} KT$
- Energi dalam gas
  - a. Untuk gas monoatomik
$$u = \frac{3}{2} NKT = \frac{3}{2} nRT$$



b. Untuk gas diatomik

$$u = \frac{3}{2}NKT = \frac{3}{2}nRT$$

1) Pada suhu rendah:  $u = \frac{3}{2}NKT$

2) Pada suhu sedang:  $u = \frac{5}{2}NKT$

3) Pada suhu tinggi:  $u = \frac{7}{2}NKT$

## KATA KUNCI

- Teori partikel
- Gas ideal
- Tekanan gas
- Isobarik
- Isokhorik
- Derajat kebebasan

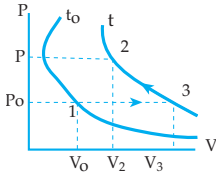


## JI KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Dalam teori kinetik gas, dimunculkan konsep gas ideal dengan maksud ....
  - a. kebanyakan gas di alam adalah gas ideal
  - b. agar tumbukan antara partikel gas lenting sempurna
  - c. untuk menyederhanakan dalam pembahasan teorinya
  - d. agar tidak terpengaruh dengan medan gravitasi
  - e. agar dapat menggunakan satuan S.I
2. Suatu gas dalam ruang tertutup mempunyai volum =  $V$ , tekanan =  $P$  dan suhu =  $T$ . Jika gas tersebut dipanasi pada proses isoklorik sehingga suhunya menjadi  $2T$ , maka volum dan tekanannya menjadi ....
  - a.  $V$  dan  $\frac{1}{2}P$
  - b.  $2V$  dan  $P$
  - c.  $V$  dan  $2P$
  - d.  $V$  dan  $4P$
  - e.  $2V$  dan  $2P$

3. Sifat-sifat gas ideal adalah seperti di bawah ini, **kecuali** ....
  - a. tumbukan antara gas lenting sempurna
  - b. pada tumbukan antara molekul gas berlaku hukum kekekalan momentum
  - c. dapat mengembun bila dimampatkan
  - d. berlaku hukum-hukum newton pada gerakan
  - e. berlaku hukum Boyle Gay Lussac
4. Pada saat kita menggunakan pompa sepeda untuk memompa sepeda berlaku hukum ....
  - a. Boyle
  - b. Gay Lussac
  - c. Gas umum
  - d. Newton
  - e. Alam
5. Kecepatan rata-rata molekul gas oksigen pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan berat atom oksigen 16 adalah ....
  - a. 641 m/s
  - b. 461 m/s
  - c. 146 m/s
  - d. 416 m/s
  - e. 614 m/s
6. Suatu gas dalam ruang tertutup mempunyai tekanan 2 atm dan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Jika kemudian gas ditekan secara perlahan-lahan sehingga volumenya menjadi  $\frac{1}{3}$  dari volum mula-mula, maka tekanan dan suhunya menjadi ....
  - a. 6 atm dan 300 K
  - b. 6 atm dan 900 K
  - c.  $\frac{2}{3}$  atm dan 600 K
  - d. 8 atm dan 600 K
  - e. 6 atm dan 600 K
7. Massa jenis gas helium dalam sebuah tangki tertutup dengan tekanan 100 atm, suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan berat atom helium = 4,004 adalah ....
  - a.  $18,4 \text{ kg/m}^3$
  - b.  $6,12 \text{ kg/m}^3$
  - c.  $20,4 \text{ kg/m}^3$
  - d.  $40,2 \text{ kg/m}^3$
  - e.  $16,2 \text{ kg/m}^3$
8. Dalam sebuah ruangan tertutup terdapat N buah partikel gas dengan suhu mutlak  $T^{\circ}\text{K}$ . Jika konstanta Boltzman K, maka energi kinetik partikel gas tersebut ....
  - a.  $\frac{3}{2} N.K.T$
  - b.  $\frac{2}{3} N.K.T$
  - c.  $\frac{1}{2} N.K.T$
  - d.  $N.K.T$
  - e.  $2.N.K.T$
9. Di dalam sebuah tangki yang volumenya  $50 \text{ dm}^3$  terdapat gas oksigen pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 135 atm. Massa gas tersebut ....
  - a. 8,768 kg
  - b. 7,867 kg
  - c. 6,878 kg
  - d. 8,876 kg
  - e. 6,887 kg
10. Bila suhu mutlak gas ideal dinaikkan menjadi 9 kali semula, maka laju partikel itu menjadi ....
  - a. 9
  - b.  $\frac{1}{9}$
  - c. 1
  - d.  $\frac{1}{3}$
  - e. 3
11. Pada proses isotermis berlaku persamaan ....
  - a.  $\frac{PV}{T} = K$
  - b.  $P \cdot T = n \cdot R \cdot T$
  - c.  $P \cdot V = K$
  - d.  $\frac{P}{T} = K$
  - e.  $P \cdot V = N \cdot K \cdot T$

12. Suatu jenis gas menempati volume  $100 \text{ cm}^3$  pada temperatur  $0^\circ\text{C}$  dan tekanan  $1 \text{ atm}$ . Bila temperatur menjadi  $50^\circ\text{C}$  sedangkan tekanan menjadi  $2,0 \text{ atm}$ , maka volume gas akan menjadi ....
- $118,3 \text{ cm}^3$
  - $84,5 \text{ cm}^3$
  - $59,2 \text{ cm}^3$
  - $45,5 \text{ cm}^3$
  - $38,4 \text{ cm}^3$
13. Pemampatan gas dengan perlahan-lahan, dimaksudkan agar ....
- hukum Gay Lussac berlaku dengan baik
  - hukum Boyle berlaku dengan baik
  - hukum Boyle-Gay Lussac berlaku dengan baik
  - tenaga panasnya kurang
  - suhu tetap konstan
14. Rapat massa suatu gas pada suhu  $T$  dan tekanan  $P$  adalah  $p$ . Jika tekanan gas tersebut dijadikan  $2P$  dan suhunya diturunkan menjadi  $0,5T$ , maka rapat massa gas menjadi ... kali semula.
- 4
  - 2
  - 0,5
  - 0,25
  - salah semua
15.  Proses di titik 1 sampai 3 dalam gambar di samping adalah ....
- proses isothermis
  - proses isobarik dengan suhu konstan
  - proses pengembangan dengan suhu konstan
  - proses pemanasan dengan tekanan konstan
  - proses isokharik

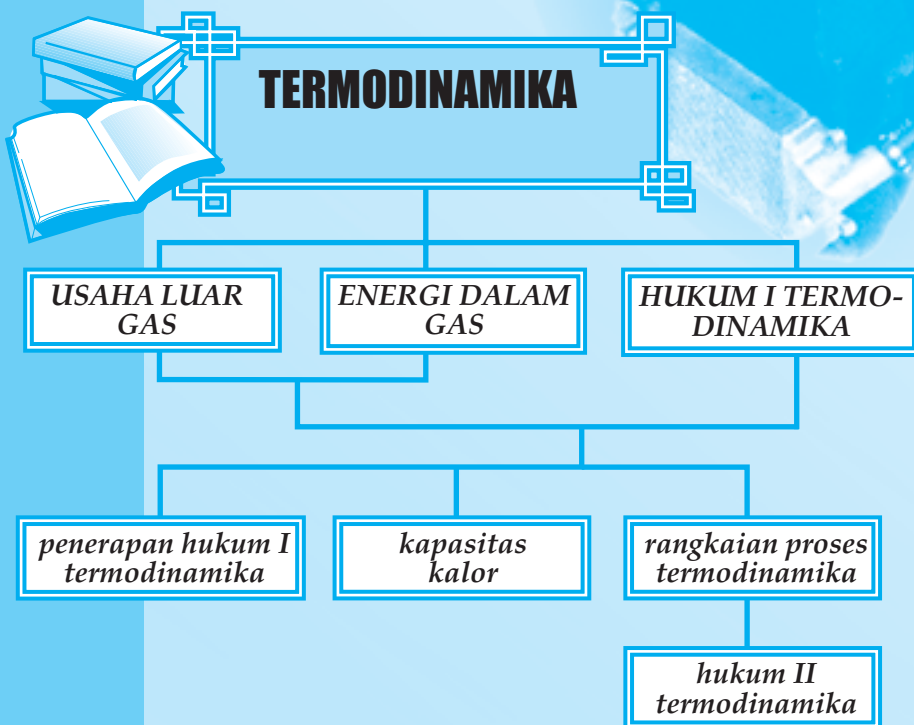
## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

- Berapakah kecepatan  $V$  dalam molekul oksigen yang tekanannya  $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  dan suhunya  $0^\circ\text{C}$  bila massa jenis oksigen  $0,001 \text{ gr/cm}^3$ ?
- Dalam sebuah tangki yang volumenya  $4 \text{ m}^3$  terdapat  $0,01 \text{ mol}$  gas amoniak dengan tekanan  $1 \text{ atm}$ . Berapakah energi kinetik rata-rata sebuah molekul gas amoniak itu?
- Hitunglah kecepatan rata-rata molekul  $\text{H}_2$  pada suhu  $27^\circ\text{C}$  jika massa  $1 \text{ mol } \text{H}_2 = 0,0020 \text{ kg}$ !
- Hitung energi dalam gas helium sebanyak  $2 \text{ mol}$  pada suhu  $27^\circ\text{C}$ !
- Suatu silinder berisi  $1 \text{ liter}$  gas dengan tekanan  $2 \text{ atm}$  dan suhu  $27^\circ\text{C}$ . Bila suhu gas menjadi  $77^\circ\text{C}$  sedangkan volumenya dijadikan separuh dari volume semula. Berapakah tekanan gas sekarang?

# 9

## TERMODINAMIKA

Setelah mempelajari materi "Termodinamika" diharapkan Anda dapat mendeskripsikan usaha, energi dalam dan kalor berdasarkan hukum utama termodinamika serta mampu menganalisis proses gas ideal berdasarkan grafik tekanan-volum ( $P - V$ ). Selanjutnya Anda diharapkan mampu mendeskripsikan prinsip kerja mesin Carnot.

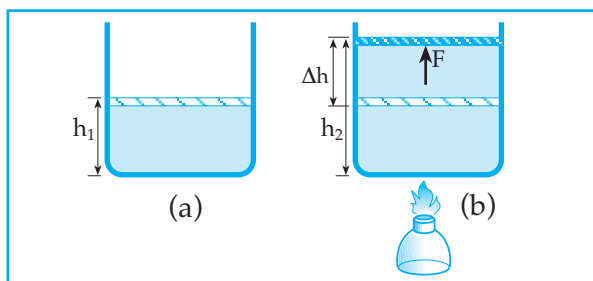


Termodinamika merupakan cabang Fisika yang mempelajari tentang perubahan energi dari suatu bentuk ke bentuk lain, terutama perubahan dari energi panas ke dalam energi lain.

Perubahan-perubahan energi dalam termodinamika didasarkan pada dua hukum.

1. Hukum termodinamika pertama yang merupakan pernyataan lain dari hukum kekekalan energi.
2. Hukum termodinamika kedua yang memberi bahasan apakah suatu proses dapat terjadi atau tidak.

## A. USAHA GAS



Gambar 9.1 Usaha gas

Gambar 9.1 (a) : suatu gas dalam bejana yang tertutup dengan piston yang bebas bergerak

Tinggi piston mula-mula =  $h_1$ .

Gambar 9.1 (b) : gas dalam bejana dipanasi sampai suhu tertentu sehingga tinggi piston menjadi  $h_2$ .

Naiknya tutup piston dalam bejana (Gb 9.1(b)) karena selama gas dipanasi gas memuai dan menekan piston ke atas.

Jika luas penampang bejana atau luas penampang piston =  $A$ , maka selama gas memuai gaya yang dilakukan oleh gas pada piston:  $F = p \cdot A$ .

Usaha yang dilakukan oleh gas selama memuai:

$$W = F (h_2 - h_1)$$

$$W = p \cdot A (h_2 - h_1)$$

$$W = p \cdot A \cdot \Delta h$$

$$W = p \cdot \Delta V$$

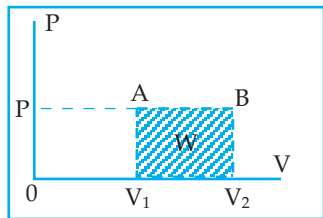
$W$  = usaha yang dilakukan gas

$P$  = tekanan yang dilakukan gas

$\Delta V$  = perubahan volum gas.

Usaha yang dilakukan oleh gas dapat dihitung secara grafik hubungan tekanan (P) dan volum (V) dan secara matematik.

Persamaan usaha yang dilakukan oleh gas di atas dihitung berdasarkan proses gas pada tekanan tetap (*Isobarik*)



Gambar 9.2 Proses isobarik

Pada Gambar 9.2 di samping pada proses gas dengan tekanan tetap maka usaha yang dilakukan oleh gas selama proses dari A ke B dapat dihitung = luas daerah di bawah grafik.

$W = \text{luas daerah yang diarsir}$

$$W = P (V_2 - V_1)$$

$W = p \cdot \Delta V$

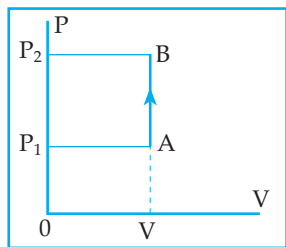
Secara matematika usaha yang dilakukan oleh gas dapat dihitung secara integral:

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P \cdot dv$$

Bagaimana usaha yang dilakukan oleh gas pada proses *isokhorik*, *isotermis* dan *adiabatik*?

Hal tersebut dapat dihitung berdasarkan grafik dan matematik dengan analogi di atas.

**1. Proses Isokhorik (volum tetap)**



Gambar 9.3 Proses isokhorik

Selama proses gas dari A ke B karena  $V_2 = V_1$  maka  $\Delta V = 0$  sehingga usaha yang dilakukan oleh gas:

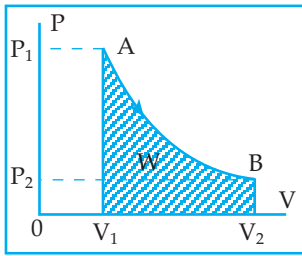
$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = 0$$

Jadi pada proses isokhorik gas tidak melakukan usaha terhadap lingkungannya

**2. Proses Isotermik (suhu tetap)**

Grafik hubungan tekanan (P) dan volum (V) pada proses isotermik seperti Gambar 9.4 berikut.



Gambar 9.4  
Proses isotermik

Usaha yang dilakukan gas pada proses isotermik

$$W = \text{luas daerah yang diarsir}$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P \cdot dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{nRT}{V} dv$$

$$W = n.R.T \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{V} = n.R.T. \ln \frac{V_2}{V_1}$$

atau

$$W = 2,3.n.R.T \log \frac{V_2}{V_1}$$

### 3. Proses Adiabatik

Proses adiabatik merupakan suatu proses di mana tidak ada panas yang keluar atau masuk ke dalam sistem.

Proses ini terjadi pada suatu tempat yang benar-benar terisolasi secara termal.

Dalam kenyataannya mustahil mendapatkan proses yang benar-benar adiabatik.

Proses yang mendekati adiabatik adalah proses yang berlangsung sangat cepat.

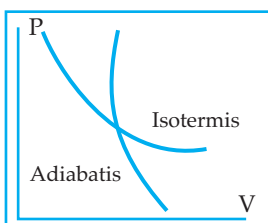
Pada proses adiabatik hubungan antara tekanan dan volum serta hubungan antara suhu dan volum dari gas dinyatakan dengan persamaan:

$$P \cdot V^\gamma = \text{konstan atau } P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{konstan atau } T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

$\gamma$  = konstanta laplace

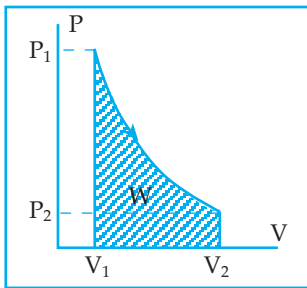
Grafik hubungan tekanan (P) dan volum (V) pada proses adiabatik hampir sama dengan proses Isotermis.



Gambar 9.5 Grafik adiabatik  
dan isotermis

Bagaimana usaha yang dilakukan oleh gas pada proses adiabatik?

Kita dapat menghitung berdasarkan grafik hubungan P dan V sebagai berikut:



Gambar 9.6  
Proses adiabatik

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V^\gamma} dV$$

$$W = \frac{C}{1-\gamma} \left| V^{1-\gamma} \right|_{V_1}^{V_2}$$

$$W = \frac{C}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

Dengan mengganti:  $C = P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$

Didapat:

$$W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2^\gamma V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^\gamma V_1^{1-\gamma})$$

$$W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

### Contoh Soal 9.1

1. Gas dalam ruang tertutup dengan tekanan  $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  pada volum  $2 \text{ m}^3$  dan suhu  $300 \text{ K}$ . Jika gas tersebut dipanaskan pada tekanan tetap sehingga suhunya menjadi  $600 \text{ K}$ , berapakah usaha luar yang dilakukan oleh gas tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $P_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $V_1 = 20 \text{ m}^3$ ;  $T_1 = 300 \text{ K}$ ;  $T_2 = 600 \text{ K}$

Ditanya:  $W$  untuk  $P_2 = P_1$

Jawab:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{2}{300} = \frac{V_2}{600}$$

$$V_2 = 4 \text{ m}^3$$

$$W = P_1 (V_2 - V_1)$$

$$W = 2 \cdot 10^5 \text{ Joule}$$



2. Gas ideal dalam ruang tertutup dengan volum  $0,5 \text{ m}^3$  dan tekanan  $1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  pada suhu  $17^\circ\text{C}$ . Berapakah energi dalam gas tersebut?

*Penyelesaian*

Diketahui:  $V = 0,5 \text{ m}^3$  ;  $P = 1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  ;  $T = 290 \text{ K}$

Ditanya:  $u$

Jawab :

$$u = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} \cdot P \cdot V$$

$$u = \frac{3}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^4 \cdot 0,5 = 1,125 \text{ joule}$$

## B. ENERGI DALAM GAS

### Hukum I Termodinamika

#### Energi Dalam

Pada waktu kita membahas teori kinetik gas, kita menganggap bahwa gas terdiri atas molekul-molekul. Tiap molekul ini bergerak karena mempunyai energi. Jumlah tiap energi yang dimiliki oleh tiap molekul inilah yang dinamakan *energi dalam gas*.

Besar energi dalam:

- untuk gas monoatomik:  $u = \frac{3}{2} N \cdot K \cdot T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$

- untuk gas diatomik:

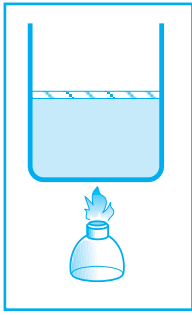
pada suhu rendah :  $u = \frac{3}{2} N \cdot K \cdot T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$

pada suhu sedang:  $u = \frac{5}{2} N \cdot K \cdot T = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$

pada suhu tinggi :  $u = \frac{7}{2} N \cdot K \cdot T = \frac{7}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa energi dalam gas hanya tergantung pada suhu. Untuk mengubah energi dalam gas berarti harus mengubah suhu.

Suhu dapat diubah, jika sistem menerima/memberikan panas atau sistem melakukan/menerima usaha.



Gambar 9.7  
Energi dalam gas

Gambar 9.7 melukiskan suatu gas dalam bejana tertutup piston yang bebas bergerak sedang dipanasi.

Panas yang diterima oleh gas digunakan untuk dua hal, yaitu untuk menaikkan energi dan untuk melakukan usaha luar.

$$Q = \Delta u + W$$

$Q$  = panas yang diterima oleh gas

$\Delta u$  = perubahan energi dalam gas

$W$  = usaha yang dilakukan oleh gas

Dari persamaan di atas diperoleh:

$Q$  positif jika gas (system) menerima panas

$Q$  negatif jika gas (system) memberikan panas

$\Delta u$  positif jika energi dalam gas (system) bertambah

$\Delta u$  negatif jika energi dalam gas (system) berkurang

$W$  positif jika gas (system) melakukan usaha (kerja)

$W$  negatif jika gas (system) menerima usaha (kerja)

Persamaan  $Q = \Delta u + W$  dikenal dengan hukum I Termodinamika, yang sebenarnya merupakan hukum kekekalan energi.

Menurut hukum I Termodinamika "sejumlah panas yang diterima oleh suatu gas (system) dan usaha yang dilakukan terhadap suatu gas (system) dapat digunakan untuk menambah energi dalam gas (system) tersebut".

Hukum I Termodinamika dapat ditinjau dengan berbagai proses:

a) Proses Isotermis

Pada proses isotermis:  $\Delta u = 0$  sehingga  $Q = W$

b) Proses Isobaris

Pada proses isobaris:  $Q = \Delta u + W$

c) Proses Isokhoris

Pada proses isokhoris  $W = 0$  sehingga  $Q = \Delta u$

d) Proses Adiabatik

Pada proses adiabatik  $Q = 0$  sehingga  $0 = \Delta u + W$

$W = -\Delta u$

### Contoh Soal 9.2

Di dalam silinder yang tertutup oleh penghisap yang dapat bergerak bebas terdapat gas helium pada tekanan 1 atm. Mula-mula volumenya  $300 \text{ cm}^3$ . Berapakah tekanan gas itu jika dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi  $\frac{1}{4}$  volum semula?

### Penyelesaian

Diketahui:  $P_1 = 1 \text{ atm}$  ;  $V_1 = 300 \text{ cm}^3$

$$V_2 = \frac{1}{4} \cdot V_1 = 75 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = 1,67$$

Ditanya:  $P_2$

Jawab :

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

$$1 \cdot (300)^{1,67} = P_2 \cdot (75)^{1,67}$$

$$P_2 = \left( \frac{300}{75} \right)^{1,67} = (4)^{1,67}$$

misal:  $(4)^{1,67} = x$

$$\log x = 1,67 \log 4$$

$$x = 10,13$$

$$\text{Jadi } P_2 = 10,13 \text{ atm}$$

## Uji Pemahaman 9.1

### Kerjakan soal berikut!

1. Gas belerang ( $B_m = 64$ ) sebanyak 40 gram dipanaskan dalam tekanan tetap dari 300 K sampai 350 K.  $C_p = 40,128 \text{ J/mol.K}$  ;  $C_v = 31,814 \text{ J/mol.K}$ . Hitunglah:
  - a. kenaikan energi dalamnya
  - b. usaha yang dilakukan oleh gas!
2. Gas monoatomik pada volum 0,5 liter, suhu  $27^\circ\text{C}$  bertekanan 1,5 atm gas dimampatkan secara adiabatik sehingga tekanannya menjadi 2 atm. Jika volumenya menjadi 0,2 liter berapakah  $^\circ\text{C}$  suhunya?

### C. KAPASITAS KALOR

Kapasitas kalor suatu gas (C) adalah jumlah kalor yang diperlukan (Q) untuk menaikkan suhu gas satu kelvin  $C = \frac{Q}{\Delta t}$ .

a) Kapasitas kalor pada volum tetap ( $C_v$ )

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Q_v = W + \Delta u = 0 + \frac{3}{2}n.R.\Delta T \quad (\text{gas monoatomik})$$

$$Q_v = \frac{3}{2}n.R.\Delta T$$

$$C_v = \frac{\frac{3}{2}n.R.\Delta T}{\Delta T} = \frac{3}{2}n.R$$

b) Kapasitas kalor pada tekanan tetap ( $C_p$ )

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T}$$

$$Q_p = W + \Delta u = n.R.T + \frac{3}{2}n.R.T = \frac{5}{2}n.R.\Delta T$$

$$C_p = \frac{\frac{5}{2}n.R.\Delta T}{\Delta T} = \frac{5}{2}n.R$$

Sehingga:  $C_p = C_v + nR$

Konstanta Laplace:  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

$$\gamma = \frac{5.n.R}{2} \times \frac{2}{3.n.R}$$

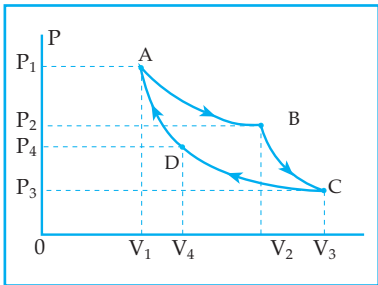
$$\gamma = \frac{5}{3} = 1,67 \quad (\text{gas monoatomik})$$

Untuk gas diatomik:

- untuk suhu rendah:  $C_v = \frac{3}{2}n.R$ ;  $C_p = \frac{5}{2}n.R$ ;  $\gamma = 1,67$
- untuk suhu sedang:  $C_v = \frac{5}{2}n.R$ ;  $C_p = \frac{7}{2}n.R$ ;  $\gamma = 1,4$
- untuk suhu tinggi:  $C_v = \frac{7}{2}n.R$ ;  $C_p = \frac{9}{2}n.R$ ;  $\gamma = 1,28$

D. RANGKAIAN PROSES TERMODINAMIKA

Suatu gas pada ruang tertutup dapat disebut suatu sistem. Sistem ini dapat menyerap kalor dari lingkungan untuk melakukan usaha. Bila sistem melakukan serangkaian proses, maka usaha yang dihasilkan merupakan jumlah usaha dari beberapa proses yang dilakukan. Bila proses itu dapat kembali ke posisi awal dikatakan sistem gas melakukan siklus. Siklus Carnot merupakan siklus ideal yang terdiri atas 2 proses isothermis dan 2 proses adiabatik.



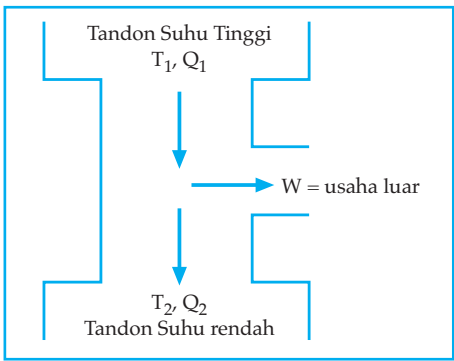
Gambar 9.8 Siklus Carnot

Proses AB = proses ekspansi isothermis  
Proses BC = proses ekspansi adiabatik  
Proses CD = proses dipresi isothermis  
Proses DA= proses-proses dipresi adia-  
batis  
Bila suatu mesin menyerap kalor  $Q_1$  dan melakukan usaha  $W$  dengan melepaskan kalor  $Q_2$ , maka:

$$W = Q_1 - Q_2$$

E. EFISIENSI MESIN KALOR

Efisiensi mesin kalor adalah perbandingan usaha yang dilakukan dengan kalor yang diserap.



Gambar 9.9 Mesin kalor

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\%$$

Efisiensi Mesin Carnot:

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\% \text{ atau } \eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

### Contoh Soal 9.3

Sebuah mesin kalor mengambil kalor sebesar 1000 joule dari tandon bersuhu dan membuang kalor 400 joule pada tandon bersuhu rendah. Hitunglah:

- a) usaha luar yang dilakukan mesin
- b) efisiensi mesin

*Penyelesaian*

Diketahui:  $Q_1 = 1000$  joule ;  $Q_2 = 400$  joule

Ditanya: a)  $W$                       b)  $\eta$

Jawab :

a)  $W = Q_1 - Q_2$

$$W = 1000 - 400 = 600 \text{ joule}$$

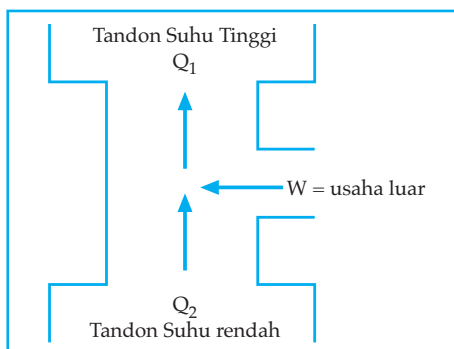
b)  $\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% = \frac{600}{1000} \times 100\% = 60\%$

## F. HUKUM TERMODINAMIKA II

Hukum II Termodinamika dirumuskan dalam berbagai pernyataan atau perumusan sebagai hasil pengamatan yang dilakukan berabad-abad.

Menurut Clausius: tidak mungkin memindahkan kalor dari tandon yang bersuhu rendah ke tandon yang bersuhu tinggi tanpa dilakukan usaha.

Perumusan Clausius sehubungan dengan prinsip kerja Refrigerator (mesin pendingin).



Gambar 9.10 Refrigerator

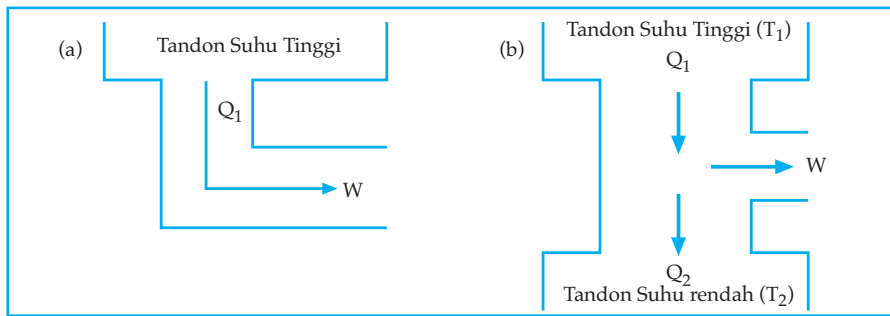
$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

### Perumusan Kelvin Planck

Perumusan Kelvin Planck tentang hukum II Termodinamika sebagai berikut: *tidak ada suatu mesin yang bekerja dalam suatu siklus dapat mengubah kalor menjadi usaha seluruhnya.*

Gb (a): proses yang tidak mungkin

Gb (b): proses yang mungkin terjadi



Gambar 9.11

Jadi jika suatu mesin menyerap kalor  $Q_1$ , kalor tersebut sebagian digunakan untuk melakukan usaha luar ( $W$ ) dan sebagian terbuang sebagai kalor  $Q_2$ .

- Efisiensi mesin kalor maksimum sama dengan efisiensi mesin Carnot.
- Mesin yang bekerja di antara tandon suhu tinggi  $T_1$  dan tandon suhu rendah  $T_2$  mempunyai efisiensi maksimum:  $\eta$

$$\eta_{\max} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

## Uji Pemahaman 9.2

### Kerjakan soal berikut!

1. Gas dalam suatu ruang tertutup menyerap kalor 200 kalori dan melakukan usaha luar sebesar 500 joule. Berapakah perubahan energi dalam gas tersebut?
2. Mesin carnot bekerja pada suhu  $127^\circ\text{C}$  dan  $27^\circ\text{C}$ . Jika mesin menyerap kalor 24 kalori dari tandon suhu tinggi, maka berapakah usaha luar yang dilakukan dalam tiap siklus?

## Rangkuman

- Usaha luar gas:  $W = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$ 
  - a. Pada proses isobarik:  $W = PdV$
  - b. Pada proses isokhorik:  $W = 0$

- c. Pada proses isothermis:  $W = 2,3 \, nRT \log \frac{V_2}{V_1}$
- d. Pada proses adiabatik:  $W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$
- Kapasitas kalor
  - a. Pada volum tetap:  $C_V = \frac{3}{2} nR$
  - b. Pada tekanan tetap:  $C_P = \frac{5}{2} nR$   
 $C_P = C_V + nR$
- Konstanta Laplace:  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$
- Efisiensi
  - a. Mesin kalor:  $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
  - b. Mesin Carnot:  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

## KATA KUNCI

- Usaha gas
- Proses isokhorik
- Proses isotermik
- Proses adiabatik
- Energi dalam
- Konstanta Laplace
- Kapasitas kalor
- Efisiensi mesin

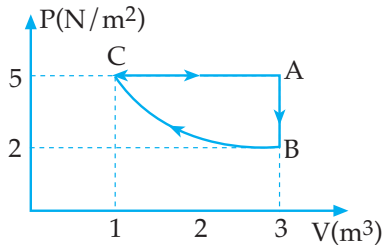




## KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Proses sebuah mesin dengan gas ideal digambarkan dalam diagram berikut!



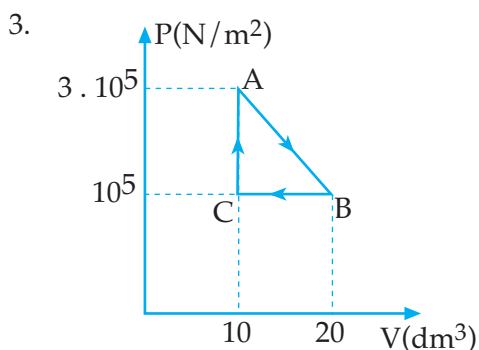
Pernyataan

- 1) Proses dari A ke B adalah proses isokhorik
  - 2) Usaha yang dilakukan dalam proses dari C ke A sebesar 10 joule
  - 3) Pada proses dari B ke C adalah proses isothermis
- Dari pernyataan di atas yang benar adalah ....
- a. 1 dan 2
  - b. 2 dan 3
  - c. 1 dan 3
  - d. 1, 2 dan 3
  - e. 3 saja
2. Energi kalor yang seluruhnya dapat diubah menjadi energi mekanik atau usaha, sebagian akan terbuang. Pernyataan ini terkenal sebagai ....
- a. hukum I termodinamika
  - b. hukum kekekalan energi
  - c. hukum II termodinamika
  - d. hukum joule
  - e. hukum thomson
3. Mesin Carnot beroperasi pada suhu 300 K dan 400 K menghasilkan kerja  $10^4$  joule. Jumlah kalor yang dialirkan ke reservoir suhu dingin adalah ....
- a.  $4,6 \times 10^3$  J
  - b.  $2 \times 10^4$  J
  - c.  $3 \times 10^4$  J
  - d.  $4 \times 10^3$  J
  - e.  $6 \times 10^4$  J
4. Siklus Carnot dibatasi oleh ....
- a. 2 garis isobarik dan 2 garis isothermis
  - b. 1 garis isothermis dan 1 garis adiabatik
  - c. 2 garis isokhorik dan 2 garis isothermis
  - d. 1 garis isokhorik dan 1 garis adiabatik
  - e. 2 garis isothermis dan 2 garis adiabatik
5. Mesin Carnot bekerja pada suhu  $27^\circ\text{C}$  dan  $627^\circ\text{C}$ . Jika sekali siklus menyerap bahan bakar 3000 joule, maka kalor yang dilepaskan adalah ....
- a. 1000 J
  - b. 2000 J
  - c. 1500 J
  - d. 500 J
  - e. 2500 J
6. Mesin Carnot menggunakan reservoir suhu tinggi dengan suhu 800K. Jika efisiensi mesin 40%, maka reservoir suhu rendah adalah ....
- a. 420 K
  - b. 480 K
  - c. 500 K
  - d. 600 K
  - e. 700 K

7. Dari 5 pernyataan mesin Carnot di bawah ini yang mempunyai efisiensi 60% adalah mesin yang bekerja antara suhu ....
  - a. 500 K dan 400 K
  - b. 1000 K dan 400 K
  - c. 1000 K dan 600 K
  - d. 500 K dan 500 K
  - e. 1000 K dan 200 K
8. Proses yang dialami oleh suatu sistem yang tidak disertai penukaran panas dan sekelilingnya dinamakan proses ....
  - a. isoklaris
  - b. isothermis
  - c. isobaris
  - d. adiabatik
  - e. isotherm
9. Sejenis gas ideal bervolum 3 liter pada 27°C. Gas ini dipanaskan dengan tekanan tetap 2 atm sampai suhunya mencapai 227°C. Jika 1 atm =  $1,013 \times 10^5$  Pa, maka kerja yang dilakukan gas adalah ....
  - a. 402 J
  - b. 405 J
  - c. 403 J
  - d. 409 J
  - e. 412 J
10. Pernyataan hukum I Termodinamika dalam proses adiabatik dapat dinyatakan ....
  - a.  $Q = W + \Delta U$
  - b.  $Q = -W$
  - c.  $W = \Delta U$
  - d.  $Q = \Delta U$
  - e.  $Q = W$
11. Jika sejumlah gas melakukan usaha dengan proses adiabatik, maka ....
  - a. volumenya berkurang
  - b. tekanannya berkurang
  - c. suhunya tetap
  - d. energi di dalamnya bertambah
  - e. suhunya berkurang
12. Usaha yang dilakukan gas pada proses isothermis adalah ....
  - a.  $W = P \cdot \Delta V$
  - b.  $W = 2,3 nRT \ln V_2/V_1$
  - c.  $W = 0$
  - d.  $W = 2,3 nRT \log V_2/V_1$
  - e.  $W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$
13. Sebuah mesin bekerja di antara reservoir (tangki) bersuhu 600 K dan 450 K. Jika mesin tersebut mesin ideal, efisiensi mesin adalah ....
  - a. 75%
  - b. 50%
  - c. 40%
  - d. 25%
  - e. 20%
14. Pada keadaan normal ( $T = 0^\circ\text{C}$  dan  $P = 1$  atm) 4 gr gas oksigen (berat molekul  $M = 32$ ) memiliki volum sebesar ....
  - a.  $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
  - b.  $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
  - c.  $22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
  - d.  $2,8 \text{ m}^3$
  - e.  $22,4 \text{ m}^3$
15. Pada suatu proses 1000 kalori panas diberikan pada suatu sistem (gas) dan pada saat bersamaan dikerjakan pula usaha terhadap sistem itu sebesar 1000 joule. Jika 1 kalori = 4,2 joule, maka tambahan energi dalam sistem sebesar ....
  - a. 5200 joule
  - b. 3200 joule
  - c. 4200 joule
  - d. 2500 joule
  - e. 2300 joule

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

- Empat mol gas pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  mengalami proses pada tekanan tetap sehingga volumenya dari 3 liter menjadi 6 liter. Hitunglah:
  - perubahan energi dalam gas
  - energi kinetik gas mula-mula!
- Gas ideal mula-mula mempunyai volum 1 liter, tekanan 2 atm dan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Kemudian gas melakukan proses pemuaian pada suhu tetap sampai volumenya menjadi 2 liter. Kemudian isokhorik sampai tekanannya menjadi 2 atm.
  - Gambarlah proses tersebut dalam diagram P . V!
  - Berapakah usaha total yang dilakukan oleh gas selama proses tersebut?
  - Berapakah banyaknya kalor yang diserap gas selama proses tersebut?



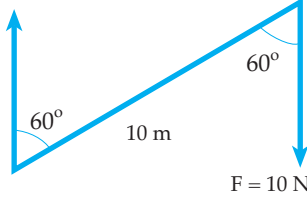
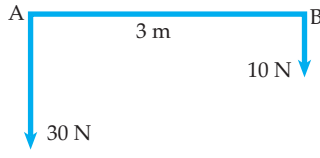
Dari diagram P . V di atas, hitunglah:

- usaha yang dilakukan gas dalam proses ABCD
  - banyaknya kalor yang diserap pada setiap siklusnya!
- Sebuah mesin diiklankan bekerja pada suhu 800 K dan 400 K dan setiap siklus memerlukan bahan bakar 20.000 joule serta melakukan usaha 10.000 joule. Dapatkah iklan itu dipercaya?
  - Mesin carnot suhu reservoir dingin  $27^{\circ}\text{C}$  dengan efisiensi 40%. Mesin itu efisiensinya dinaikkan menjadi 50%. Berapakah derajat suhu reservoir tinggi harus dinaikkan?

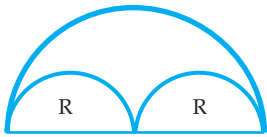


## ULANGAN SEMESTER II

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

- Sebuah bandul bergerak melingkar dengan jari-jari 50 cm dan kecepatan linier 4 m.s<sup>-1</sup>. Bandul itu mengalami perlambatan sudut 0,4 rad/s<sup>2</sup>. Bandul ini akan berhenti setelah ....  
 a. 125 s                      d. 20 s  
 b. 50 s                      e. 10 s  
 c. 40 s
- Sesaat setelah loncat dari papan luncuran, seorang peloncat indah berputar dengan kecepatan sudut  $\omega_1$  dan momen inersianya  $I_1$ . Jika ia kemudian merapatkan lututnya pada dagunya kecepatan sudutnya  $\omega_2$  dan momen inersianya  $I_2$ . Bila  $\omega_1 = 2 \omega_2$ , maka ....  
 a.  $I_2 = \frac{1}{4} I_1$                       d.  $I_2 = 2 I_1$   
 b.  $I_2 = \frac{1}{4} I_1$                       e.  $I_2 = 4 I_1$   
 c.  $I_2 = I_1$
- Sebuah bola mula-mula bergerak dengan kecepatan sudut 24 Rad/s. Kemudian roda dipercepat dengan percepatan sudut 6 Rad/s<sup>2</sup> sehingga dalam waktu kecepatan sudutnya menjadi 60 Rad/s. Sudut yang ditempuh dalam waktu  $t$  adalah ....  
 a. 144 Radian                      d. 36 Radian  
 b. 108 Radian                      e. 84 Radian  
 c. 352 Radian
- Sebuah silinder pejal yang bermassa 10 kg dan berjari-jari 2 cm menggelinding dengan kecepatan 8 m.s<sup>-1</sup>. Energi kinetik silinder itu adalah ....  
 a. 320 j                      d. 1380 j  
 b. 1600 j                      e. 480 j  
 c. 1920 j
-   
 Besarnya momen kopel seperti gambar di atas adalah ....  
 a. 5 Nm                      d.  $100\sqrt{3}$  Nm  
 b.  $50\sqrt{3}$  Nm                      e. 200 Nm  
 c. 100 Nm
- Tiga buah titik massa yang massanya sama (m) menempati koordinat (3,0), (1,4), dan (2,5). Koordinat titik pusat massanya adalah ....  
 a. (1,2)                      d. (3,2)  
 b. (2,3)                      e. (3,3)  
 c. (2,4)
- Pada gambar di bawah letak titik tangkap resultan gaya terhadap titik A adalah ....  
  
 a. 15 cm                      d. 50 cm  
 b. 20 cm                      e. 75 cm  
 c. 25 cm

8.



Koordinat titik berat kawat homogen yang berbentuk seperti pada gambar di atas terhadap sumbu x adalah ....

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| a. $\frac{2R}{\pi}$ | d. $\frac{4R}{\pi}$ |
| b. $\frac{6R}{\pi}$ | e. $\frac{7R}{\pi}$ |
| c. $\frac{5R}{\pi}$ |                     |

9. Jika suatu zat cair dikatakan tidak membasahi dinding pipa kapiler maka besar sudut kontak zat cair dalam pipa kapiler adalah ....

- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| a. $0^\circ$    | d. $90^\circ$  |
| b. $> 90^\circ$ | e. $180^\circ$ |
| c. $< 90^\circ$ |                |

10. Suatu bak kecil berbentuk kubus dengan panjang rusuk 10 cm diisi dengan minyak yang massanya 640 gram. Massa jenis minyak  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ . Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka tekanan hidrostatik pada dasar bak sebesar ....

- $6272 \text{ dyne/cm}^2$
- $6284 \text{ dyne/cm}^2$
- $7668 \text{ dyne/cm}^2$
- $7482 \text{ dyne/cm}^2$
- $7268 \text{ dyne/cm}^2$

11. Perbandingan jari-jari penghisap kecil dan besar pada pompa hidrolik adalah 1: 50. Jika berat beban yang diletakkan pada penghisap besar 40.000 N maka gaya terkecil pada penghisap kecil adalah ....

- |         |         |
|---------|---------|
| a. 40 N | d. 10 N |
| b. 20 N | e. 8 N  |
| c. 16 N |         |

12. Pipa U mula-mula berisi air dengan massa jenis  $1 \text{ gr/cm}^3$ . Luas penampang kedua kaki pipa U sama dan keduanya terbuka. Kemudian pada salah satu kaki pipa U dimasukkan minyak yang massa jenisnya  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ . Ternyata, air terdesak 10 cm. Tinggi minyak yang dimasukkan adalah ....

- |            |          |
|------------|----------|
| a. 8 cm    | d. 20 cm |
| b. 10 cm   | e. 25 cm |
| c. 12,5 cm |          |

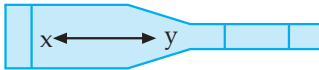
13. Sebuah bejana berisi dua macam zat cair yang tidak dapat bercampur. Masing-masing massa jenisnya  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  dan  $0,8 \text{ gr/cm}^3$  dan keduanya mempunyai ketinggian yang sama yaitu 20 cm. Tekanan hidrostatik pada dasar bejana sebesar ....

- $1600 \text{ N/m}^2$
- $2400 \text{ N/m}^2$
- $3600 \text{ N/m}^2$
- $4000 \text{ N/m}^2$
- $6000 \text{ N/m}^2$

14. Sebuah pipa horizontal mempunyai penampang melintang  $25 \text{ cm}^2$  dan mengalami penguncupan sehingga pada suatu tempat luas penampangnya  $5 \text{ cm}^2$ . Air yang melalui penampang besar mempunyai kecepatan  $1,75 \text{ m/s}$ . Kecepatan air yang melalui penampang kecil sebesar ....

- |             |             |
|-------------|-------------|
| a. 8 m/s    | d. 9 m/s    |
| b. 8,5 m/s  | e. 0,35 m/s |
| c. 8,75 m/s |             |

15. Kecepatan minyak yang melalui sebuah pipa yang jari-jari penampangnya 4 cm adalah 1 m/s. Kecepatan minyak dalam pipa tersebut yang berdiameter 6 cm adalah ....
- 1,78 m/s
  - 1,87 m/s
  - 1,67 m/s
  - 1,88 m/s
  - 1,76 m/s
16. Air mengalir dalam pipa mendarat seperti gambar di bawah ini!



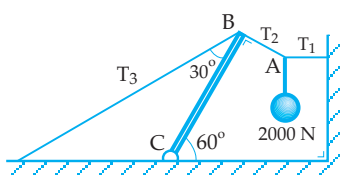
Jika  $V_x$  dan  $V_y$ , masing-masing kecepatan air mengalir melalui x dan y, sedangkan  $P_x$  dan  $P_y$  masing-masing tekanan di x dan y. Dari pernyataan-pernyataan berikut yang benar adalah ....

- $V_x < V_y$  dan  $P_x = P_y$
  - $V_x < V_y$  dan  $P_x < P_y$
  - $V_x < V_y$  dan  $P_x > P_y$
  - $V_x > V_y$  dan  $P_x > P_y$
  - $V_x > V_y$  dan  $P_x < P_y$
17. Rumus berikut berlaku untuk gas ideal, **kecuali** ....
- $\frac{PV}{T} = N.K$
  - $T \cdot P \cdot V = R$
  - $E_k = \frac{3}{2}N.K.T$
  - $V = \sqrt{\frac{3.K.T}{m}}$
  - $P \cdot V = \frac{1}{2}N \cdot E \cdot K$
18. Dua bejana A dan B volumenya sama berisi udara yang mempunyai suhu dan massa yang sama pula. Udara di dalam bejana A dipanaskan pada tekanan tetap, sedangkan udara di dalam bejana B dipanaskan pada volum tetap. Apabila jumlah kalor yang diberikan pada bejana A dan B adalah sama banyak maka ....
- kenaikan suhu udara di dalam bejana A = B
  - perubahan energi dalam udara di dalam bejana A = B
  - kenaikan suhu udara di dalam bejana A > B
  - kenaikan suhu udara di dalam bejana A < B
  - usaha yang dilakukan oleh udara di dalam bejana A = B
19. Bila sejumlah gas yang massanya tetap ditekan pada suhu tetap, maka molekul-molekul gas itu akan ....
- mempunyai energi kinetik lebih besar
  - mempunyai momentum lebih besar
  - bergerak lebih cepat
  - lebih sering menumbuk dinding tempat gas
  - kecepatan molekul-molekul bertambah, sehingga perubahan energi kinetik lebih besar
20. Gas ideal volumenya diperbesar menjadi 2 kali semula dan ternyata energi dalamnya menjadi 4 kali semula maka tekanan gas tersebut menjadi ....
- $\frac{1}{4}$  kali
  - $\frac{1}{2}$  kali
  - 2 kali
  - 4 kali
  - konstan
21. Jika suatu gas melakukan proses isobarik maka didapat ....
- $P \cdot V = \text{konstan}$
  - $\frac{V}{T} = \text{konstan}$
  - $\frac{P}{T} = \text{konstan}$
  - $\frac{P}{V} = \text{konstan}$
  - $P \cdot T = \text{konstan}$

22. Pernyataan hukum I Termodinamika dalam proses adiabatik dapat dinyatakan ....
- $Q = W + \Delta U$
  - $Q = -W$
  - $W = \Delta U$
  - $Q = \Delta U$
  - $Q = W$
23. Jika sejumlah gas melakukan usaha dengan proses adiabatik maka ....
- volumnya berkurang
  - tekanannya bertambah
  - suhunya tetap
  - energi dalamnya bertambah
  - suhu berkurang
24. Rapat massa suatu gas ideal pada suhu  $T$  dan tekanan  $P$  adalah  $p$ . Jika tekanan gas tersebut dijadikan  $2p$  sedangkan suhunya diturunkan menjadi  $0,5T$  maka rapat massa gas tersebut akan menjadi ....
- $0,25p$
  - $0,5p$
  - $p$
  - $2p$
  - $4p$
25. Mesin Carnot beroperasi pada suhu  $300\text{ K}$  dan  $650\text{ K}$  menghasilkan kerja  $104\text{ joule}$ . Jumlah kalor yang dialirkan ke reservoir suhu dingin adalah ....
- $8,6 \cdot 10^3\text{ J}$
  - $2 \cdot 10^4\text{ J}$
  - $3 \cdot 10^4\text{ J}$
  - $4 \cdot 10^4\text{ J}$
  - $8,6 \cdot 10^4\text{ J}$

### B. Jawablah soal-soal di bawah ini!

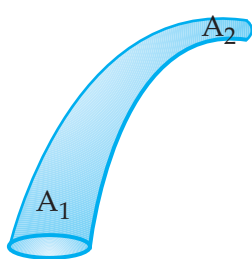
1.



Gambar di samping melukiskan batang  $BC$  homogen dengan berat  $W = 800\text{ N}$ . Dalam keadaan setimbang hitunglah gaya tegang tali  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$ !

2. Sebuah bola baja berjari-jari  $2\text{ mm}$  dijatuhkan dalam sejenis minyak ( $\rho = 965\text{ kg/m}^3$ ) yang mempunyai koefisien viskositas  $1,2\text{ kg/m}\cdot\text{det}$ . Massa jenis baja  $= 8,1 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$ . Hitunglah kecepatan maksimum bola!

3.



Pada pipa tergambar di samping, di bagian penampang I berdiameter  $12\text{ cm}$  dan tekanan  $4 \cdot 10^5\text{ N/m}^2$ . Penampang II mempunyai berdiameter  $8\text{ cm}$  dengan ketinggian  $8\text{ cm}$  lebih tinggi dari penampang I. Jika fluida yang mengalir adalah minyak ( $\rho = 800\text{ kg/m}^3$ ) dengan debit  $60\text{ liter/sekon}$  maka hitunglah tekanan di penampang II!!

- Gas oksigen dengan massa  $6\text{ gram}$ , volum  $5\text{ dm}^3$ , dan tekanan  $2 \cdot 10^5\text{ N/m}^2$ . Maka hitunglah suhu gas tersebut!
- Mesin carnot bekerja pada suhu  $127^\circ\text{C}$  dan  $27^\circ\text{C}$ . Jika mesin menyerap kalor  $24\text{ kalori}$  dari tandon suhu tinggi maka berapakah usaha luar yang dilakukan dalam tiap siklus?

# GLOSARIUM

## A

- Adhesi : gaya tarik-menarik antara partikel-partikel tidak sejenis  
Aliran turbulent : aliran berputar

## B

- Benda seimbang : benda yang tidak mengalami perubahan bentuk pada saat diberi gaya  
Benda seimbang : keadaan benda dalam keadaan diam atau bergerak beraturan  
Benda tegar : benda yang tidak mengalami perubahan bentuk pada saat diberi gaya  
Bilangan Avogadro : bilangan yang menyatakan banyaknya partikel yang terkandung dalam setiap mol zat

## D

- Daya : usaha tiap satu satuan waktu

## E

- Elastis : sifat bahan yang dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya yang bekerja padanya dihilangkan  
Energi : kemampuan untuk melakukan usaha

## F

- Fluida : zat yang dapat mengalir

## G

- Gas ideal : gas yang diasumsikan untuk menyederhanakan perhubungan matematika pada teori kinetik gas

## I

- Impuls : hasil kali gaya dengan lamanya gaya bekerja  
Inersia : kecenderungan benda untuk mempertahankan keadaannya



## K

Kapilaritas	: peristiwa naik atau turunnya zat cair dalam pipa kapiler (pembuluh sempit)
Koeffisien reslitusi	: konstanta dari suatu jenis tumbuhan
Koefisien gesekan	: nilai kekasaran suatu bidang singgung
Kohesi	: gaya tarik-menarik antara partikel-partikel sejenis
Kompresibel	: perubahan volume karena pengaruh tekanan
Koordinat polar	: koordinat untuk menyatakan posisi titik partikel yang melakukan gerak melingkar
Kopel	: pasangan dua gaya sama besar, sejajar, dan berlawanan arah

## M

Menggelinging	: perpaduan gerak rotasi dan translasi
Modulus Young	: perbandingan stress dan strain
Momen gaya	: hasil kali silang (cross product) antara vektor gaya dengan vektor lengan gaya
Momentum sudut	: momentum dari partikel yang melakukan gerak rotasi
Momentum	: hasil kali massa benda dengan kecepatan gerak benda

## N

Neraca cavendish	: neraca untuk menentukan nilai konstanta gravitasi umum
------------------	--

## R

Radian	: satu sudut datar
--------	--------------------

## S

Siklus	: suatu proses yang dapat membawa ke keadaan awal
Strain	: perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula
Stream line	: aliran yang mengikuti suatu garis lurus atau melengkung yang jelas ujung dan pangkalnya
Stress	: perbandingan antara gaya dan luas penampang
Sudut elevasi	: sudut kecondongan benda yang akan melakukan gerak parabola
Suhu mutlak	: suhu dalam satuan Kelvin

## T

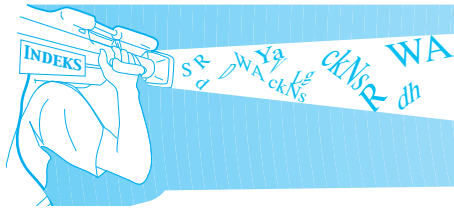
Titik acuan	: titik tempat memulai pengukuran
Tegangan permukaan	: sesuatu yang menahan permukaan zat
Termodinamika	: keterkaitan antara suhu dan gerak
Titik aphelium	: titik terjauh dari matahari pada lintasan planet mengelilingi matahari
Titik berat	: titik tangkap gaya berat benda
Titik perihelium	: titik terdekat dari matahari pada lintasan planet mengelilingi matahari

## U

Usaha luar gas	: usaha yang dilakukan oleh gas pada lingkungan di luar sistem gas
Usaha	: hasil kali titik (dot product) antara vektor gaya dan vektor perpindahan

## V

Viskositas	: tingkat kekentalan dari suatu zat cair
------------	--



# INDEKS

## A

adhesi 159, 160, 161  
adiabatik 194m 196, 201, 202  
aliran stasioner 165  
Aristoteles 50  
Archimides 154, 155, 156, 164  
asas Bernoulli 167, 171

## B

Bernoulli 165, 167, 168, 171

## D

daya 86  
derajat kebebasan 192  
dinamis 150

## E

efisiensi mesin 202, 204  
energi dalam 194, 198, 199  
energi kinetik 84, 87  
energi mekanik 87, 88  
energi potensial 87, 88

## F

fluida 150, 163, 164, 165, 166, 167, 168,  
169, 170, 171, 172  
friksi 42

## G

$G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ , 54  
Galileo 27, 51  
gas ideal 182, 187, 188  
gaya archimides 154, 155, 156, 164  
gaya gesekan 42, 43, 44  
gaya gravitasi 49, 50, 53, 54  
gaya pegas 64, 69, 70, 72

gaya stokes 163, 164  
gerak harmonik 72  
gerak linear 2, 3  
gerak melingkar, 15, 16, 17, 18, 19, 21,  
22, 23  
gerak menggelinding 121  
gerak parabola 26, 27, 28  
gerak rotasi 117, 118, 121, 128, 124, 125  
gerak translasi 121, 123, 124, 125, 137  
getaran pegas 72,  
gravitasi 45, 46, 49, 50, 53, 54, 55, 154,  
155, 159, 166, 172

## H

Heliosentris 50, 51  
hidrostatik 150, 151, 169, 171  
Hukum Archimides 154  
Hukum Gay-Lussac 186  
Hukum I Keppler 51  
Hukum I Newton 125, 134  
Hukum II Newton 20, 118, 124  
Hukum II Keppler 51  
Hukum III Keppler 51  
Hukum Stokes 163

## I

impuls 96, 97, 118  
impuls sudut 118  
inersia 118, 121, 122, 123  
inersia rotasi 121  
Isaac Newton 53  
isobarik 184, 195,  
isokhorik 186, 195  
isotermik 195, 196

## J

Johannes Ceppler 51

## K

$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  187  
kapasitas kalor 111  
kapilaritas 160  
kecepatan rata-rata, 7, 8, 9  
kecepatan sesaat, 7, 8, 9  
kelajuan 8, 17, 19, 20, 21  
Kelvin Plack 203  
kesetimbangan 130, 131, 136, 137  
koefisien gesek 45  
koefisien kekentalan 163  
kohesi 158, 160, 161  
kompresible 165  
konstanta gaya pegas 69, 70  
konstanta gravitasi 53, 54, 55  
konstanta laplace 194, 211  
kontinuitas 164, 167  
koordinat kartesius 6  
kopel 114, 116, 117

## M

massa 117, 118, 121, 123, 124, 131, 132  
medan gravitasi 49, 50, 54, 55  
menggeser 136, 137  
mengguling 136, 137  
modulus elastis 65, 66  
modulus young 66  
momen gaya 114, 115, 116, 118, 123  
momen inersia 117, 121, 122, 123, 124  
momentum 96, 97, 98, 99, 100, 103  
momentum kekal 98, 99  
momentum sudut 117, 118

## N

$N_0 = 6,0 \cdot 10^{23}$  Partikel/mol 187  
Neraca Cavendish 53, 54  
Nikolaus Copernicus 50

## P

percepatan 10, 11, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 27, 28  
percepatan sentripetal 18, 19, 20, 23, 24  
percepatan tangensial 23, 24

proses isokhorik 195  
proses isotermik 195, 196  
proses adiabatik 196, 202

## R

$R = 8,31 \text{ J/mol K}$  187  
regangan (strain) 65, 66  
Rev John Michell 53  
rotasi 117, 118, 121, 122, 123, 124, 125, 130, 131

## S

sentripetal 18, 19, 20, 23, 24  
Sir Henry Cavendish 53  
skalar 4, 8  
streamline 165  
sudut kontak 160, 161, 162  
sumbu simetri 135  
sudut elevasi, 28

## T

tegangan (stress) 65, 66  
tegangan permukaan 158, 159, 160, 161, 162  
tekanan hidrostatis 150, 151, 169  
tekanan gas 182, 183, 185, 186, 187, 188  
teori geosentris 50  
teori partikel 182  
termodinamika 194, 198, 199, 202, 203  
titik acuan 3, 4, 5  
titik berat 131, 132, 133, 134, 136, 137  
translasi 124, 125, 130, 131, 137  
tumbukan 99, 102, 103  
turbulent 105

## U

usaha 80, 81, 82, 84, 86, 87  
usaha gas 194

## V

vektor 3, 4, 5, 6, 8, 9, 18  
vektor posisi 5, 6, 9, 12  
vektor satuan 5, 6  
viskositas

# DAFTAR PUSTAKA

- KURIKULUM BERBASIS KOMPETENSI, KOMPETENSI DASAR MATA PELAJARAN FISIKA UNTUK SMA.
- ALONSO - Finn, 1992, *Dasar-dasar Fisika Universitas Edisi kedua (Terjemahan)*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Alvin, H., 1998 ; *3000 Solved Problem in Physics*, New York : McGraw – Hill Book Company.
- Bueche, F.J 1991, *Teori dan Soal-soal Fisika (terjemahan)*. Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Halliday - Resnick, 1984, *Fisika Jilid 2 Edisi ketiga (terjemahan)*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Peter Lafferty, 2000. *Jendela Iptek, gaya dan Gerak*, Edisi Bahasa Indonesia, Jakarta: Balai Pustaka
- Sears, F.W - Zemarnsky, MW 1963, *Fisika untuk Universitas (terjemahan)*, Bandung, Penerbit Bina Cipta.
- Surya, Y, 1996, *Olimpiade Fisika, Edisi Pertama*, Jakarta Penerbit PT. Primatika Cipta Ilmu.
- Fishbane, P.M., Et all, 1993, *Physics for Scientists and Engineers Extended Version*, New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Hakim L. Malasan - Moh. Ma'mur Tanudidjaja, *Jagad Raya, Pelengkap Buku IPBA untuk SMU kelas 1, 2, 3*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1999. –
- Serway, R.A. dn Faughn, R. A. dan Faughn, J. S., 1999, *College Physics*, USA : Harcourt Brace College Publishers.
- Moh Ma'mur Tanudidjaja, *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa untuk Sekolah Menengah Umum*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Standford, A. L. dan Tonner, J.M., 1985, *Physics for Students of Science and Engineering*, Orlando : Academic Press, Inc.
- Soendjojo Dridjo Soemarto, Drs. Mpd, dkk. *Materi pokok Pendidikan IrA 2, Modul U. T*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek penataran guru SD setara D2, Jakarta 1990
- Wajong, P. Drs. dkk, *Bumi dan Antariksa 2 untuk SMP*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1994.

## KUNCI JAWABAN

## BAB 1

## A.

1. C

$$a = \frac{dv}{dt} = 4i + 1,5tj$$

$$t = 2s \rightarrow a = 4i + 3j$$

$$a = \sqrt{16 + 9} = 5 \text{ m/s}^2$$

3. A

$$\vec{r}_1 = i + 4j + 2k$$

$$\vec{r}_2 = 4i + 5j + 7k$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = 3i + j + 5k$$

5. E

$$V = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j$$

$$V = (4t + 10)i + (20 + 10t)j$$

$$t = 4s \rightarrow V = 26i + 60j$$

$$V = \sqrt{(26)^2 + (60)^2}$$

7. B

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = -3t^2 + 24t$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = -6t + 24$$

$$0 = -6t + 24$$

$$t = 4 \text{ sekon}$$

9. E

$$\omega_1 = \omega_2$$

$$\frac{\theta_1}{t_1} = \frac{\theta_2}{t_2}$$

$$\frac{6,28}{2} = \frac{20\pi}{t_2}$$

$$t_2 = 20 \text{ sekon}$$

11. C

$$V = \omega \cdot R = 2 \times 0,2 = 0,4 \text{ m/s}$$

13. B

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 10 \text{ sekon}$$

$$x = v_o \cos \alpha t$$

$$x = 200 \times 1 \times 10 = 2000 \text{ m}$$

15. E

$$X_t = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$720\sqrt{3} = \frac{v_o^2 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3}}{10}$$

$$v_o = 120 \text{ m/s}$$

## B.

$$1. V = v_o + f a \cdot dt$$

$$V = v_o + 4t$$

$$12 = v_o + 8$$

$$v_o = 4 \text{ m/s}$$

$$v = 4 + 4t$$

$$S = s_o + \int v \cdot dt$$

$$S = 5 + 4t + 2t^2$$

$$t_1 = 0 \rightarrow s_1 = 5 \text{ m}$$

$$t_2 = 10 \text{ s} \rightarrow s_2 = 245 \text{ m}$$

$$v_R = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = 24 \text{ m/s}$$

$$3. a. f = \frac{50}{2} = 25 \text{ Hz}$$

$$S = 2\pi f R t = 94,2 \text{ cm}$$

$$b. \theta = 2\pi f t = 1,57 \text{ radian}$$

$$r = (R, \theta)$$

$$r = (30 \text{ cm}; 1,57 \text{ radian})$$

5.

$$X_t = v_o \cos \alpha \cdot t$$

$$100 = 100 \cos \alpha \cdot t$$

$$t = \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$y = v_o \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$90 = 100 \tan \alpha - 5 \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$90 = 100 \tan \alpha - \frac{5(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}{\cos^2 \alpha}$$

$$90 = 100 \tan \alpha - 5 \tan^2 \alpha - 5$$

$$\tan^2 \alpha - 20 \tan \alpha + 19 = 0$$

$$(\tan \alpha - 1)(\tan \alpha - 19) = 0$$

$$\tan \alpha = 1$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\tan \alpha = 19, \longrightarrow \alpha = 86,99^\circ$$

## BAB 2

### A.

1. A
3. E
5. C
7. D

$$F = f_k = \mu_k N$$

$$F = 0,5 \cdot 10 \cdot 10 = 50 \text{ N}$$

9. D

$$F = f_{s \text{ max}}$$

$$m \cdot a = \mu_s mg$$

$$a = 0,75 \times 10 = 7,5 \text{ m/s}^2$$

11. D

13. A

$$\frac{w_1}{w_2} = \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2 = \frac{16R^2}{R^2}$$

$$w_2 = \frac{1}{16} w_1$$

$$\Delta w = w_1 - w_2 = \frac{15}{16} w_1$$

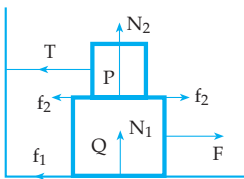
$$\% \Delta w = \frac{\Delta w}{w_1} \times 100\% = 93,75\%$$

15. A

$$w \sim \frac{1}{R^2}$$

### B.

- 1.



$$N_1 = w_P + w_Q = 30 \text{ N}$$

$$f_1 = \mu_{s1} \cdot N_1 = 0,8 \times 30 = 24 \text{ N}$$

$$N_2 = w_P = 10 \text{ N}$$

$$f_2 = \mu_{s2} \cdot N_2 = 0,4 \times 10 = 4 \text{ N}$$

- a. untuk benda Q

$$\Sigma F = 0$$

$$F = f_1 + f_2 = 28 \text{ N}$$

- b. untuk benda P

$$\Sigma F = 0$$

$$T = f_2 = 4 \text{ N}$$

3. a.  $v_{\text{max}} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R} = \sqrt{400} = 20 \text{ m/s}$

- b. Tidak slip, sebab nilai  $v_{\text{max}}$  tidak terpengaruh oleh massa

$$5. \frac{w_B}{w_P} = \frac{m_B}{R_B^2} \times \frac{R_P^2}{m_P}$$

$$\frac{90}{w_P} = \frac{m_B}{R_B^2} \times \frac{9R_B^2}{4m_B}$$

$$9w_P = 360$$

$$w_P = 40 \text{ N}$$

## BAB 3

### A.

1. D

3. A

5. C

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\frac{X}{\Delta x_2} = \frac{m}{2m}$$

$$\Delta x_2 = 2x$$

7. A

9. C

$$\frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{\Delta x_1^2}{\Delta x_2^2}$$

$$\frac{E}{E_{p2}} = \frac{x^2}{4x^2}$$

$$E_{p2} = 4E$$

11. A

$$K_P = K_1 + K_2 = 500 \text{ N/m}$$

$$\Delta x = \frac{F}{K_P} = \frac{30}{500} = 0,06 \text{ m}$$

$$\Delta x = 6 \text{ cm}$$

13. A

$$E_P = \frac{1}{2} k \Delta x^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9 \cdot 10^{-4} = 0,45 \text{ J}$$

15. A

$$K = \frac{F}{\Delta x} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ N/m}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{10}{0,1}}$$

$$f = 1,6 \text{ Hz}$$

**B.**

$$1. \Delta x = 0,25 - 0,20 = 0,05 \text{ m}$$

$$F = K \cdot \Delta x = 2 \times 0,05 = 0,1 \text{ N}$$

$$W = F = 0,1 \text{ N}$$

$$3. a. F = \frac{E \cdot A \cdot \Delta x}{x_0}$$

$$F = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{4} = 30 \text{ N}$$

$$b. E_p = \frac{1}{2} F \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 3 \cdot 10^{-4}$$

$$E_p = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Joule}$$

$$5. K_p = K_1 + K_2 = 125 \text{ N/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 6,28 \sqrt{\frac{1}{125}}$$

$$T = 0,562 \text{ sekon}$$

$$N = \frac{t}{T} = \frac{60}{0,562}$$

$$N = 106 \text{ getaran}$$

**BAB 4****A.**

1. C
3. E

$$\frac{E_{K1}}{E_{K2}} = \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2}$$

$$\frac{E}{E_{K2}} = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{\frac{1}{2} m_2 \cdot 4 v_1^2}$$

$$E_{K2} = 2E$$

$$5. A$$

$$W = F \cdot S = f_k \cdot S$$

$$W = 500 \cdot 10 = 5000 \text{ J}$$

$$7. C$$

$$E_{p1} = E_{p2} + E_{k2}$$

$$200 = 100 + E_{k2}$$

$$E_{k2} = 100 \text{ Joule}$$

$$9. A$$

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

$$16 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v^2$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

**B.**

$$1. W_p = \Delta E_K = E_{Kt} - E_{Ko}$$

$$-\frac{1}{2} K \Delta x^2 = 0 - \frac{1}{2} m v_o^2$$

$$4 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot v_o^2$$

$$v_o = 0,1 \sqrt{2} \text{ m/s}$$

$$3. V_{t1} = v_o - g t_1 = 40 - 20 = 20 \text{ m/s}$$

$$V_{t2} = v_o - g t_2 = 40 - 60 = -20 \text{ m/s}$$

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \left( \frac{v_{t1}}{v_{t2}} \right)^2 = \left( \frac{20}{-20} \right)^2 = 1$$

$$5. W_p = E_{Kt} - E_{Ko}$$

$$-\frac{1}{2} K \Delta x^2 = 0 - \frac{1}{2} m v_o^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot 500 \cdot \Delta x^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 100$$

$$\Delta x = 0,316 \text{ m}$$

**BAB 5****A.**

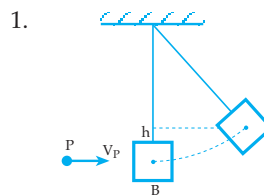
1. A
3. B
5. B
7. A

$$F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{50}{0,01} = 5000 \text{ N}$$

$$9. C$$

$$m_A v_A = m_B v_B$$

$$\frac{m_A}{m_B} = \frac{v_B}{v_A} = \frac{40}{10} = \frac{4}{1}$$

**B.**

Gerakan peluru mengenai balok

$$m_p v_p + m_b v_b = (m_p + m_b) v$$

$$0,25 + 0 = 1,01 v$$

$$v = 0,25 \text{ m/s}$$

gerakan balok dan peluru berayun

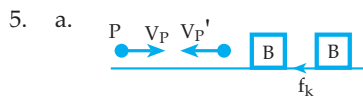
$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h$$

$$0,0313 = 10 h$$

$$h = 0,00313 \text{ m} \quad h = 0,313 \text{ cm}$$



3.  $p = m \cdot v = 1,25 \text{ kgm/s}$



gerakan peluru menumbuk balok

$$m_p v_p + m_b v_b = m_p v_p' + m_b v_b'$$

$$4 + 0 = -0,5 + 5v_b'$$

$$v_b' = 0,9 \text{ m/s}$$

gerakan balok

$$W = \frac{1}{2} m v_t^2 - \frac{1}{2} m v_o^2 \Rightarrow v_o = v_b'$$

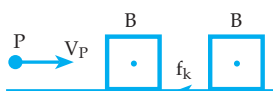
$$-f_k \cdot S = 0 - \frac{1}{2} m v_o^2$$

$$-\mu_k \cdot m \cdot g \cdot S = -\frac{1}{2} m v_o^2$$

$$0,4 \cdot 10 \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 0,81$$

$$S = 0,1 \text{ m}$$

b.



gerakan peluru menumbuk balok

$$m_p v_p + m_b v_b = (m_p + m_b) v$$

$$4 + 0 = (5,05) v$$

$$v = 0,79 \text{ m/s}$$

gerakan balok dan peluru

$$W = E_{k_t} - E_{k_o}$$

$$-f_k \cdot S = \frac{1}{2} m v_t^2 - \frac{1}{2} m v_o^2 \Rightarrow v_o = v$$

$$-\mu_k \cdot m \cdot g \cdot S = 0 - \frac{1}{2} m v_o^2$$

$$0,4 \cdot 10 \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 0,6241$$

$$S = 0,078 \text{ m}$$

## BAB 6

### A.

1. C

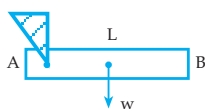
$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} m R^2 \omega^2$$

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{5} m v^2 = 0,7 m v^2$$

$$E_K = 0,7 \cdot 2 \cdot 25 = 35 \text{ joule}$$

3. D



$$\tau = I \cdot \alpha$$

$$W \cdot \frac{1}{2} L = \frac{1}{3} m L^2 \cdot \alpha$$

$$m \cdot g \cdot \frac{1}{2} L = \frac{1}{3} m L^2 \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{39}{2L}$$

5. E

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 1,5t^2 \pm 5$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = 3t$$

$$t = 8 \text{ s} \rightarrow \alpha = 24 \text{ rad s}^{-2}$$

7. B

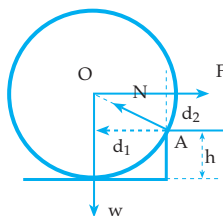
$$\tau = I \cdot \alpha$$

$$\tau = \frac{1}{2} m R^2 \cdot \alpha$$

$$\tau = \frac{1}{2} \times 60 \times 0,04 \times 20$$

$$\tau = 24 \text{ Nm}$$

9. C



$$d_1 = \sqrt{R^2 - (R - h)^2}$$

$$d_2 = (R - h)$$

$$\Sigma \tau_A = 0$$

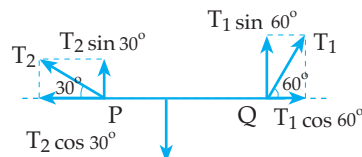
$$F \cdot d_2 = w \cdot d_1$$

$$F = \frac{w \cdot \sqrt{R^2 - R^2 + 2Rh + h^2}}{R - h}$$

$$F = \frac{w \cdot (2Rh + h^2)^{\frac{1}{2}}}{R - h}$$

11. D

13. D



$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_2 \cos 30^\circ = T_1 \cos 60^\circ$$

$$T_1 = T_2 \sqrt{3} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

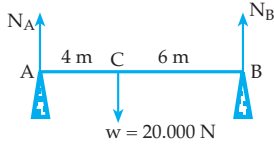
$$T_1 \sin 60^\circ + T_2 \sin 30^\circ = W$$

$$1,5T_2 + 0,5T_2 = 12$$

$$T_2 = 6 \text{ N}$$

$$T_1 = 6\sqrt{3} \text{ N}$$

15. E



$$\Sigma \tau_B = 0$$

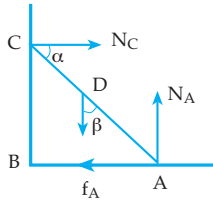
$$N_A \cdot AB = W \cdot BC$$

$$10 N_A = 120.000$$

$$N_A = 120.000 \text{ N}$$

$$N_B = W - N_A = 8000 \text{ N}$$

17. E



$$\sin \alpha = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$\Sigma \tau_A = 0$$

$$N_C \cdot AC \cdot \sin \alpha = W \cdot \frac{1}{2} AC \cdot \sin \beta$$

$$N_C \cdot \frac{4}{5} = W \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{5}$$

$$N_C = \frac{3}{8} W$$

$$\mu = \frac{f_A}{N_A} = \frac{N_C}{W} = \frac{\frac{3}{8} W}{W}$$

$$\mu = \frac{3}{8}$$

19. A

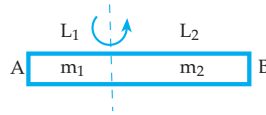
B.

$$1. \quad \Sigma \tau_E = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4$$

$$\Sigma \tau_E = -F_1 \cdot \frac{1}{2} s + 0 + F_3 \cdot \frac{1}{2} s + F_4 \cdot \frac{1}{2} s$$

$$\Sigma \tau_E = -50 + 0 + 50 + 50 = 50 \text{ Ncm}$$

3.



$$L_1 = \frac{1}{4} L = 0,3 \text{ m} \quad m_1 = \frac{1}{4} m = 1 \text{ kg}$$

$$L_2 = \frac{3}{4} L = 0,9 \text{ m} \quad m_2 = \frac{3}{4} m = 3 \text{ kg}$$

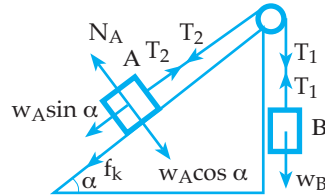
$$I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{1}{3} m_1 L_1^2 + \frac{1}{3} m_2 L_2^2$$

$$I = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,09 + \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 0,81$$

$$I = 0,03 + 0,81 = 0,84 \text{ kgm}^2$$

5.



$$W_B = 60 \text{ N}$$

$$W_A \sin \alpha = 24 \text{ N}$$

$$f_K = \mu_k \cdot W_A \cos \alpha = 16 \text{ N}$$

$$W_B > W_A \sin \alpha + f_K$$

Benda B bergerak ke bawah, benda A bergerak ke atas

Untuk benda B

$$W_B - T_1 = m_B \cdot a$$

$$60 - T_1 = 6a$$

$$T_1 = 60 - 6a$$

Untuk Benda A

$$T_2 - W_A \sin \alpha - f_K = m_A \cdot a$$

$$T_2 - 24 - 16 = 4a$$

$$T_2 = 40 + 4a$$

Untuk katrol

$$\Sigma \tau = I \cdot \alpha$$

$$(T_1 - T_2)R = \frac{1}{2} mR^2 \alpha$$

$$T_1 - T_2 = \frac{1}{2} m_k \cdot a$$

$$60 - 6a - 40 - 4a = 2a$$

$$20 = 12a$$

$$a = \frac{5}{3} \text{ m/s}^2$$

$$v_t = v_o + at$$

$$v_t = 0 + \frac{5}{3} \cdot 2 = 3,3 \text{ m/s}$$

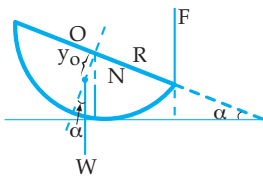
$$v_A = v_B = v_t = 3,3 \text{ m/s}$$

$$7. F_1 \cdot A_C \sin 30^\circ = F_2 \cdot B_C$$

$$40 \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} = 10 \cdot x$$

$$x = 16 \text{ cm}$$

9.



$$y_o = \frac{3}{8}R$$

$$\Sigma \tau_o = 0$$

$$W \sin \alpha \cdot y_o = F \cdot R \sin(90^\circ + \alpha)$$

$$16 \sin \alpha \cdot \frac{3}{8}R = 2\sqrt{3} \cdot R \cos \alpha$$

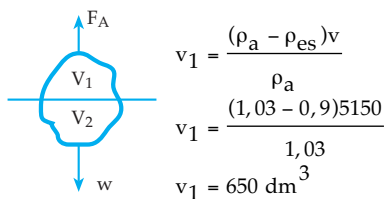
$$\tan \alpha = \frac{1}{3}\sqrt{3}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

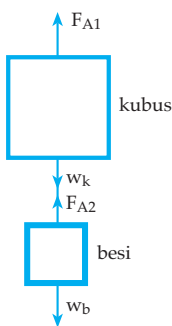
## BAB 7

### A.

1. C



3. D



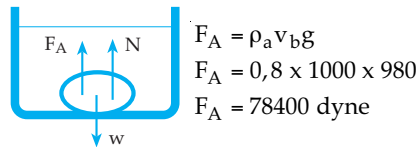
$$F_{A1} + F_{A2} = W_k + W_b$$

$$\rho_m v_k g + \rho_m v_b g = \rho_k v_k g + \rho_b v_b g$$

$$\rho_b = \frac{\rho_m v_k + \rho_m v_b - \rho_k v_k}{v_b}$$

$$\rho_b = 7,2 \text{ gr/cm}^3$$

5. E



7. D

$$F_A = \rho_m \cdot v_b \cdot g$$

$$F_A = 800 \times 4 \cdot 10^{-3} \times 10$$

$$F_A = 32 \text{ N}$$

9. D

$$P_h = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2$$

$$P_h = 2400 + 1600 = 4000 \text{ N/m}^2$$

11. D

13. B

15. A

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{10}{10} = 1 \text{ cm/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{10}{5} = 2 \text{ cm/s}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$2 + \frac{1}{2} = P_2 + 2$$

$$P_2 = 0,5 \text{ dyne/cm}^2$$

17. C

$$Q = \pi R^2 v$$

$$Q = 3,14 \times 16 \times 10^{-4} \times 3$$

$$Q = 0,151 \text{ m}^3/\text{s} = 151 \text{ liter/s}$$

19. C

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm/s}$$

$$V = 0,25 \text{ m/s}$$

### B.

1. a.  $1 \text{ atm} = 1,03 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$$P = P_h + P_o$$

$$P = \rho_m g \cdot h_m + P_o$$

$$P = 800 \cdot 10 \cdot 0,8 + 1,03 \times 10^5$$

$$P = 1,094 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

b.  $P_h = \rho_m \cdot g \cdot h$

$$P_h = 800 \cdot 10 \cdot 0,7$$

$$P_h = 5600 \text{ N/m}^2$$

$$3. \quad \gamma = \frac{\rho \cdot g \cdot r \cdot y}{2 \cos \theta}$$

$$\gamma = \frac{10^3 \cdot 10.2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$\gamma = 8 \cdot 10^{-1} = 0,8 \text{ N/m}$$



$$v_2 = \frac{\rho_b \cdot V}{\rho_a} = \frac{m_b}{\rho_a}$$

$$v_2 = \frac{100.000}{1000} = 100 \text{ m}^3$$

b.  $v_2 = \frac{m_b}{\rho_a} = \frac{100.000}{1030}$

$$v_2 = 97,09 \text{ m}^3$$

7.  $P + \rho gh = \frac{1}{2} \rho v_2^2$

$$2 \cdot 10^4 + 8 \cdot 10^4 = 500 v_2^2$$

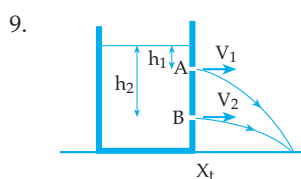
$$v_2 = 14,14 \text{ m/s}$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 8} = 12,65 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{Q}{v_1} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{12,65} = 3,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$Q_2 = A \cdot v_2 = 55,85 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 55,85 \text{ cm}^3/\text{s}$$



a. lubang A

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 2} = 6,32 \text{ m/s}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2y_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 18}{10}} = 1,9 \text{ sekon}$$

$$x_{t_1} = v_1 \cdot t_1 = 12 \text{ m}$$

lubang B

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 18} = 18,97 \text{ m/s}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2y_2}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{10}} = 0,63 \text{ sekon}$$

$$x_{t_2} = v_2 \cdot t_2 = 12 \text{ m}$$

$$x_{t_1} = x_{t_2} \text{ terbukti}$$

b.  $x_t = 12 \text{ m}$

## BAB 8

### A.

1. C
3. C
5. B

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3 \times 8,31 \times 10^3 \times 273}{32}}$$

$$v = 461 \text{ m/s}$$

7. E

$$\rho = \frac{pm}{RT}$$

$$\rho = \frac{101 \times 10^5 \times 4,004}{8,31 \times 10^3 \times 300}$$

$$\rho = 16,2 \text{ kg/m}^3$$

9. A

$$m = \frac{pVm}{RT}$$

$$m = \frac{135 \times 1,01 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-2} \times 32}{8,31 \times 10^3 \times 300}$$

$$m = 8,751 \text{ kg}$$

11. C
13. E
15. D

### B.

1.  $v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \times 3 \times 10^5}{1}}$

$$v = 9,49 \times 10^2 \text{ m/s}$$

3.  $m_o = \frac{2 \times 10^{-3}}{6,02 \times 10^{23}} = 3,32 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$$v = \sqrt{\frac{3KT}{m_o}} = \sqrt{\frac{3 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 300}{3,32 \times 10^{-27}}}$$

$$v = 1,934 \times 10^3 \text{ m/s}$$

5.  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

$$\frac{2 \times 1}{300} = \frac{P_2 \times 0,5}{350}$$

$$P_2 = \frac{700}{150} = 4,67 \text{ atm}$$

## BAB 9

### A.

1. D

3. C

$$\frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{10^4}{Q_1} = 1 - \frac{300}{400}$$

$$Q_1 = 4 \times 10^4 \text{ J}$$

$$Q_2 = Q_1 - W$$

$$Q_2 = (4 \times 10^4) - 10^4$$

$$Q_2 = 3 \times 10^4 \text{ J}$$

5. A

$$\frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{W}{3000} = 1 - \frac{300}{900}$$

$$W = 2000 \text{ J}$$

$$Q_2 = Q_1 - W = 1000 \text{ J}$$

7. B

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

9. B

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{3}{300} = \frac{V_2}{500}$$

$$V_2 = 5 \text{ liter}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 2 \ell$$

$$\Delta V = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W = P \Delta V$$

$$W = 2 \times 1,013 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$W = 405,2 \text{ Joule}$$

11. E  $W = -\Delta u = -\frac{3}{2}nR\Delta T$

13. D

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(1 - \frac{450}{600}\right) \times 100\% = 25\%$$

15. A

$$\Delta u = Q + W$$

$$\Delta u = 4200 + 1000 = 5200 \text{ J}$$

### B.

1. a.  $\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$

$$\frac{3}{300} = \frac{6}{T_2}$$

$$T_2 = 600 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 300 \text{ K}$$

$$\Delta u = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

$$\Delta u = \frac{3}{2} \times 4 \times 8,31 \times 300 = 14.958 \text{ Joule}$$

b.

$$E_{K1} = \frac{3}{2}nRT_1$$

$$= \frac{3}{2} \times 4 \times 8,31 \times 300$$

$$= 14.958 \text{ Joule}$$

3. a.  $W = \text{Luas } \Delta ABC$

$$W = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^5 = 1000 \text{ Joule}$$

b.  $Q = W + \Delta u$

$$Q = 1000 + 0 = 1000 \text{ Joule}$$

5.  $\eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

$$0,4 = 1 - \frac{300}{T_1}$$

$$\frac{300}{T_1} = 0,6$$

$$T_1 = 500 \text{ K}$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_2}{T_1'}$$

$$0,5 = 1 - \frac{300}{T_1'}$$

$$\frac{300}{T_1'} = 0,5$$

$$T_1' = 600 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_1' - T_1 = 100 \text{ K}$$



Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

ISBN 978-979-068-802-5 (no.jilid lengkap)

ISBN 978-979-068-808-7

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp 11.990,-